

1976 APR 08



MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézet Budapest



MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
SZÁMITÁSTECHNIKAI ÉS AUTOMATIZÁLÁSI KUTATÓ INTÉZETE

ELLENPÁRHUZAMOS FÉLVEZETŐPÁROKKAL VEZÉRELT
ASZINKRONMOTOROS HAJTÁSOK SZÁMITÁSI
MÓDSZEREI

Irta:
VARGA ANDRÁS

Tanulmányok 45/1975.

A kiadásért felelős:

Dr. VÁMOS TIBOR

ISBN 963 311 016 5

TARTALOMJEGYZÉK

	Oldal
BEVEZETÉS	5
1. FESZÜLTÉGSZABÁLYOZOTT ASZINKRON GÉPEK KÖZELITŐ	
SZÁMITÁSI MÓDSZEREI	7
1.1. Közelitő számítási módszerünk alapjai	7
1.1.1. A statikus háromfázisu áramkör helyettesítő kapcsolása és alapegyenletei	7
1.1.2. Passzív R-L kör harmonikus analízise TT és TD kapcsolás esetén	14
1.1.3. Passzív R-L kör harmonikus analízise TTO kapcsolás esetén	24
1.2. Közelitő számítási módszerünk alkalmazása háromfázisu aszinkron gép esetén	28
1.3. A külföldi irodalomban leginkább elterjedt közelitő módszer ismertetése	33
2. ASZINKRON GÉP ANALIZISE NÉGY ENERGIA TÁROLÓ	
FIGYELEMBEVÉTELÉVEL	34
3. A SZÁMITÓGÉPES PROGRAMCSOMAGOK ISMERTETÉSE	44
3.1. Az általunk alkalmazott közelités számítógépes programcsomagja TT és TD kapcsolásra	45
3.2. Az általunk alkalmazott közelités számítógépes programja TTO kapcsolás esetén	54
3.3. A külföldi irodalomban leginkább elterjedt közelités számítógépes programcsomagja TT és TD kapcsolásra	56
3.4. A négy energiatárolós modell programcsomagja	59
ÖSSZEFOGLALÓ	67
FÜGGELÉK	68
IRODALOMJEGYZÉK	71

BEVEZETÉS

Az ellenpárhuzamos félvezetőpárokkal vezérelt aszinkronmotoros hajtások, vagy más néven feszültségszabályozott váltakozóáramu hajtások elméleti vizsgálatával a BME Villamosgépek Tanszéken kezdtek el foglalkozni még 1965-ben.

A szóbanforgó kapcsolás - mely ugyan a veszteséges fordulatszabályozások közé tartozik - vizsgálatát a megoldás rendkívül egyszerű felépítése és nagy Üzembiztonsága indokolja. Ezt ismerte fel a magyar ipar is - külföldi tapasztalatok és vizsgálataink alapján - amikor megbízta az Intézet Villamos Hajtások Osztályát a feszültségszabályozott daruhajtások, illetve szellőző hajtások kifejlesztésével.

A feszültségszabályozott aszinkronmotoros daruhajtások és szellőző hajtások sorozatának kifejlesztéséhez, a gyártási dokumentáció kidolgozásához, a tervezési tanulmány elkészítéséhez természetesen a kapcsolás részletes elemzésére volt szükség, az igen nagy mennyiségű kísérleti munkán és vizsgálatokon túlmenően.

Az elméleti vizsgálatok elsősorban a kapcsolás állandósult állapotbeli viselkedésére, az áramirányítók méretezésére, a motorok terhelhetőségi kérdéseire irányultak. Ebben a vonatkozásában elsősorban a gyakorlat számára megfelelő közelítő eljárások kidolgozására volt szükség.

Ez a közelítő módszer részben nomogramok segítségével történő tervezést tesz lehetővé, részben viszonylag egyszerű képleteket ad, amelyeket a számítási munka megkönnyítése végett gyors számítógépes eljárásokkal is ki lehet értékelni.

Ugyanakkor részben az állandósult Üzemre használt közelítések ellenőrzésére, részben a dinamikus viszonyok vizsgálatához a pontos leírási, tárgyalási módszerek kidolgozása is szükséges volt - bár ennek a gyakorlat számára nincs túl nagy jelentősége.

A vizsgálatokat a gyakorlati szempontból legérdekesebb tirisztor-tirisztor vagy tirisztor-dióda párról táplált aszinkronmotorokra végeztük el.

A fentieknek megfelelően a jelen tanulmány a következő fő fejezeteket tartalmazza:

- "A feszültségszabályozott aszinkron gépek közelítő számítási módszerei" című részben az általunk kidolgozott közelítő módszer, valamint a külföldi irodalomban leginkább elterjedt közelítő eljárás elméleti és matematikai alapjait, illetve összefüggéseit közöljük.
- "Az aszinkron gép analízise négy energiatároló figyelembevételével" című fejezetben a statikus viszonyokra érvényes pontos eljárás alapösszefüggéseit és a számítógépes programhoz szükséges végképleteket adjuk meg.
- "A számítógépes programcsomagok" című rész foglalja össze röviden a különféle kapcsolásokra vonatkozó, különféle közelítő módszerek programcsomagjainak elvi felépítését és megadja a használatához szükséges ismereteket; leírja továbbá a pontos módszer programcsomagjait is, ez ellenőrzésére szolgál valamint a kezdeti feltételek meghatározására a dinamikus viszonyok elemzéséhez, amely egy külön tanulmány tárgya.

Jelen munkám során a különféle közelítő és pontos módszereket kidolgozó és az említett sorozatokat tervező dr. R á c z I s t v á n, B o r k a J ó z s e f, dr. H a l á s z S á n d o r és H u n y á r M á t y á s kollégáim munkáit használtam fel, elsősorban az 1. és 2. fejezetben.

1. FESZÜLTÉGSZABÁLYOZOTT ASZINKRON GÉPEK KÖZELITŐ SZÁMITÁSI MÓDSZEREI

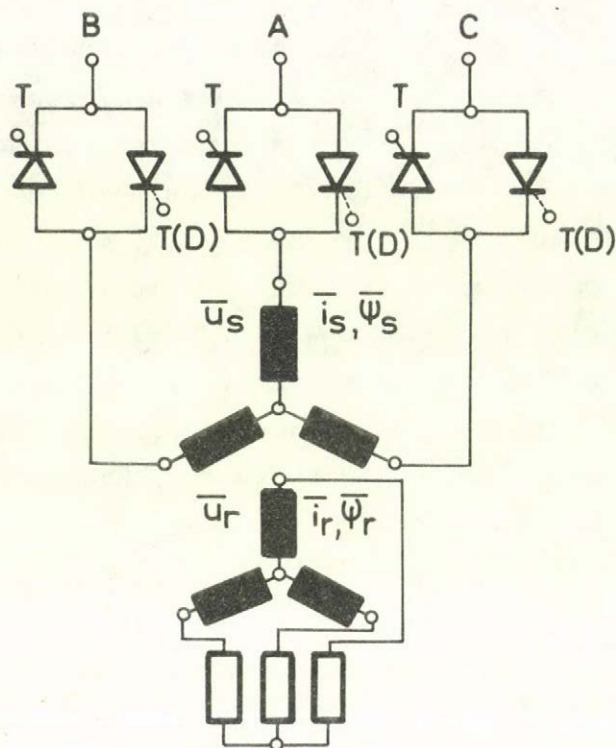
Ebben a fejezetben két közelítő módszert ismertetünk. Az egyik, általunk kidolgozott közelítés /1.1 és 1.2/ lényege, hogy az aszinkron gép helyettesítő kapcsolását átalakítva, egy olyan kapcsolást kapunk, amelyben egy szliptől független soros R-L tag szerepel és a hálózat \bar{U}_h feszültségét egy szliptől függő $\bar{U}'/s/$ alapharmonikus feszültséggel módosítjuk. Ekkor a számítást két részre lehet bontani. Először elvégezzük az $\bar{U}_h - \bar{U}'/s/$ feszültségről táplált szliptől független R-L kör analizisét. Ez rögtön megadja bármely passzív R-L terhelésre vonatkozó eredményeket is. $\bar{U}_h - \bar{U}'/s/$ helyett ilyenkor értelemszerűen \bar{U}_h használandó. Ezután meghatározzuk az $\bar{U}'/s/$ -t, amelyet figyelembe véve az R-L kör analiziséből kapott eredmények felhasználhatók adott szlippel üzemelő aszinkron gép analizisének az elvégzéséhez.

A második módszernél a kapcsolást úgy alakítjuk át, hogy nem szerepel benne módosító feszültség, viszont ekkor az ellenállás és az induktivitás értéke függ a szliptől. Ezért ekkor minden szlipnél ki kell számolni a motor alapharmonikusra vonatkozó R/s/ és L/s/ értékét és minden fordulatszámra külön-külön el kell végezni az R/s/-L/s/ kör analizisét.

1.1 Közelítő számítási módszerünk alapjai

1.1.1 A statikus háromfázisu áramkör helyettesítő kapcsolása és alapegyenletei

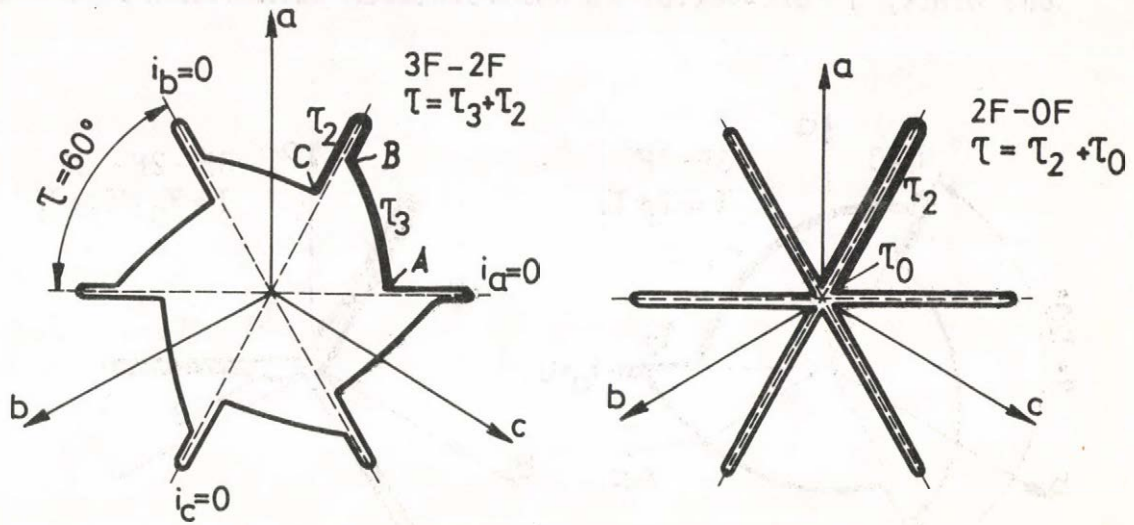
Az 1.1 ábrán látható az alapkapcsolás három félvezető párral szembe-kapcsolt tirisztor-tirisztor párokkal /un. TT kapcsolás, kivezetett csillagpont esetén az un. TTO kapcsolás/, illetve tirisztor-dióda párokkal /un. TD kapcsolás/. A tirisztorok állandósult üzemen is kapcsolási tranziens jelenségeket okoznak. Ennek a folyamatnak a tanulmányozásához a Park-vektorok alkalmazása az egyik legcélszerűbb módszer.



1.1. ábra.

Stacioner periodikus üzemben az egyes felharmonikusok szimmetrikus háromfázisú feszültségrendszer képeznek. Ekkor TT kapcsolásban egy periódus alatt hatszor avatkozunk be, így a feszültség- és áramgörbe Park-vektora 6 oldaluan szimmetrikus. Az állórész áram jellegzetes Park-vektorait mutatja az 1.2 ábra.

Például tegyük fel, hogy a "b" és "c" fázisban vezet egy-egy tirisztor. Ha az A pontban gyújtjuk az "a" fázis megfelelő tirisztorát, a motor mindhárom fázisa a hálózatra van kötve és az áramvektor az AB pályát írja le. A B pontban a "C" fázis árama nullán megy át, és mivel nem gyújtjuk a másik irányú tirisztorát, csak két fázis van a hálózatra kötve $i_c = 0$, ezért az áramvektor a BC pályán halad. A C pontban gyújtva a "c" fázis megfelelő tirisztorát, ismét mind a három fázis a hálózatra van kötve, és a folyamat 60° -al elforgatva megismétlődik.



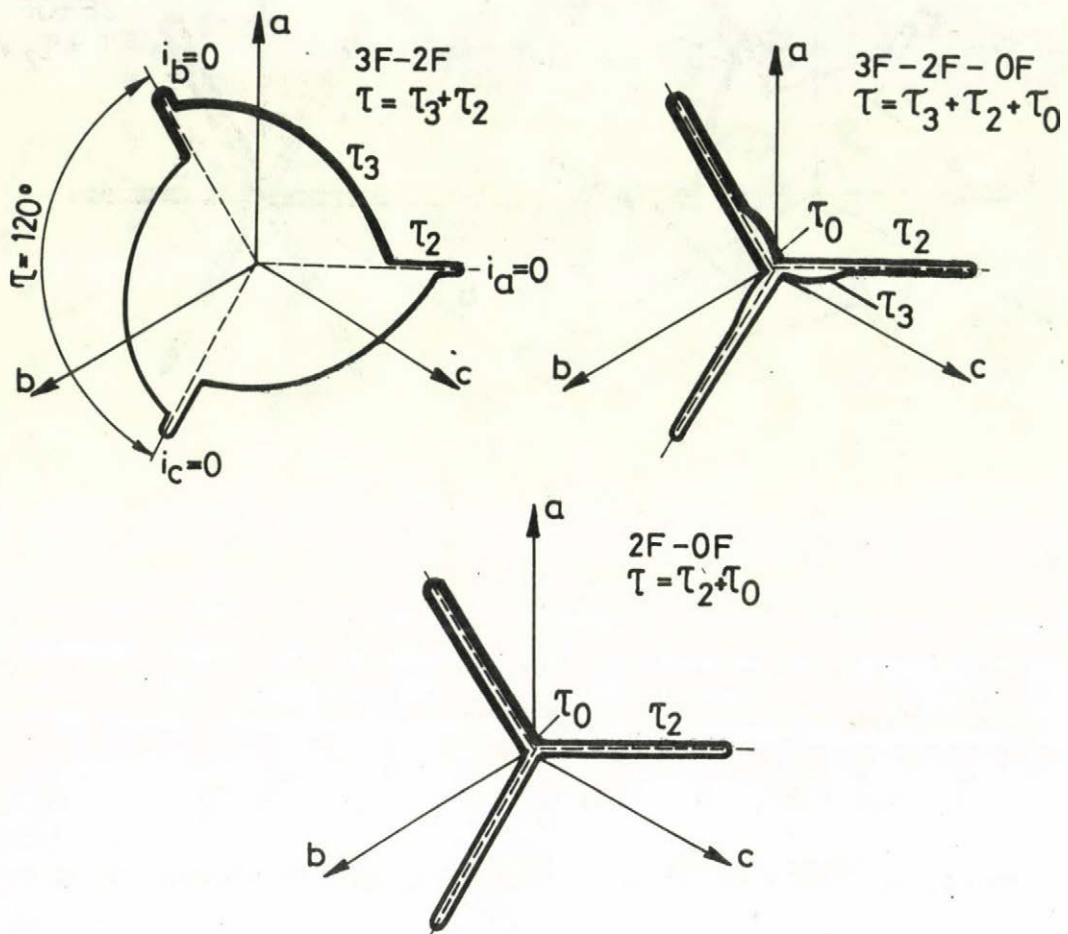
1.2. ábra.

Ismert, hogy ha a vektorok pályája "g" oldaluan szimmetrikus, akkor csak

$$\nu = 1 + g \cdot k, \quad \text{ahol} \quad k = 0, \pm 1, \pm 2 \dots \quad /1.1/$$

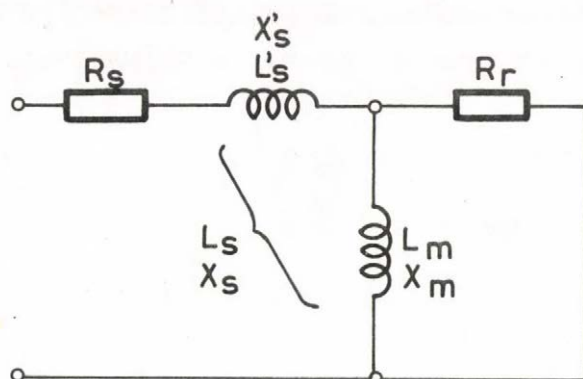
rendszámu felharmonikusok léphetnek fel. Jelen esetben $g = 6$, azaz $\nu = \dots -11, -5, 1, 7, 13 \dots$

TD kapcsolásnál, amikor csak háromszor avatkozunk be egy periódus alatt, a Park-vektor is háromoldalúan szimmetrikus /1.3 ábra/,



1.3. ábra.

azaz $g = 3$, $\nu = \dots -5, -2, 1, 4, 7 \dots$. Az aszinkron gép helyettesítő kapcsolását a ν -edik felharmonikusra az 1.4 ábra szerint adhatjuk meg.



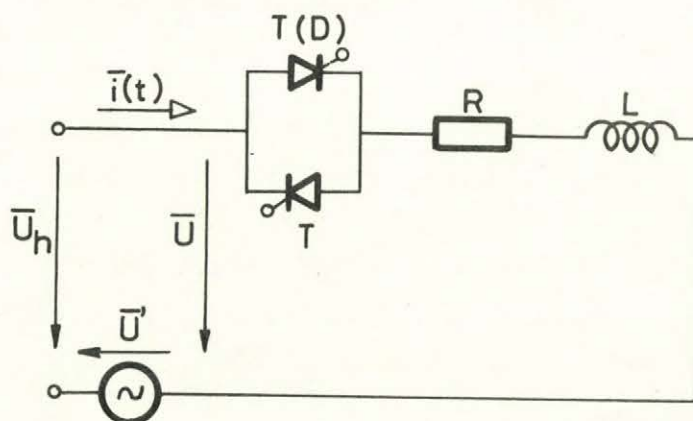
1.4. ábra.

Az egyszerűbb számítás érdekében olyan áttételi viszonyt vettünk fel, hogy a szekunder szórási reaktancia zérus legyen.

$\gamma \neq 1$ esetben az s_γ szlip a $0 < s < 2$ tartományban gyakorlatilag eggyel egyenlő. Az áthidaló ág árama a $\gamma \neq 1$ rendszámú felharmonikusoknál elhanyagolható, mert $\gamma \cdot X_m \approx \infty$. Ezután az $R = R_s + R_r$ és L' -ből ki lehet számítani az egyes felharmonikusokra a \bar{Z}_γ impedanciát $[\gamma \neq 1]$. Azért, hogy az egyszerűsített helyettesítő kapcsolás érvényességét az alapharmonikusra is kiterjesszük, egy megfelelő \bar{U}' alapharmonikus feszültséget iktathatunk a körbe /1.5 ábra/. Ha $j \cdot \gamma \cdot X'_s \cdot \bar{i}_s$ induktív

feszültségesést $L' \cdot \frac{d\bar{i}_s}{dt}$ formába átírjuk, akkor az egyszerű-

sített helyettesítő kapcsolás minden harmonikusra azonos. Ezután nem szükséges szétbontanunk a feszültségeket és az áramokat alap- és felharmonikusokra, azaz az 1.5 ábrán látható helyettesítő kapcsolás pillanatértékekre is helyes lesz.



1.5. ábra.

Igy a statikus helyettesítő kapcsolás feszültségegyenletét mint vektorális differenciál-egyenletet írhatjuk fel:

$$\bar{U} = \bar{U}_h - \bar{U}' = R \cdot \bar{i} + L' \frac{d\bar{i}}{dt} + \bar{U}_t \quad /1.2/$$

Ez a vektoros egyenlet felbontható két független /x és y irányu/ vetületi egyenletre.

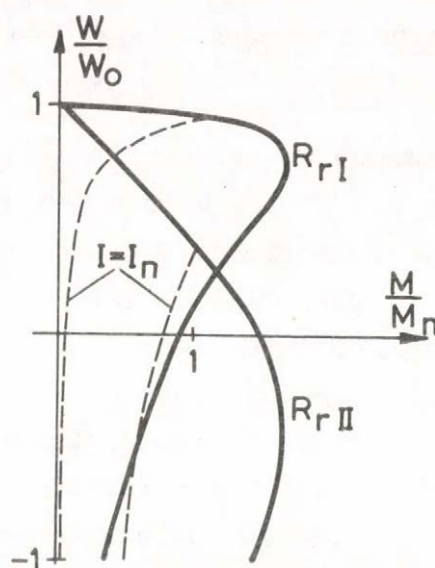
Előtét ellenpárhuzamos félvezetők alkalmazása esetén a motor állórészben négyféle vezetési állapot jöhet létre:

- 1./ Mindhárom fázisban vezet az egyik félvezető elem /jelöljük ezt 3F-el/.
- 2./ Két fázisban vezet egy-egy félvezető elem /2F/.
- 3./ Egy fázisban vezet egy félvezető elem /1F/.
Ez a vezetési állapot csak kivezetett csillagpont esetében jöhet létre.
- 4./ Egyik félvezető elem sem vezet /0F/.

Ismert, hogy a Park-vektornak az a, b és c fázistengelyekre merőlegesen álló A, B és C tengelyekre vett vetületei $\sqrt{3}$ -as léptékváltoztatással a vonali mennyiségeket adják. Ennek ismeretében bizonyítható, hogy a kétfázisú áramvezetés feszültségegyenleteinek megoldása a háromfázisú megoldás megfelelő tengelyekre vett vetületeiből kapható.

A közelítés jóságának eldöntésében a forgórész körüli ellenállás és a mágneses reaktancia viszonya lényeges.

A gép terhelhetősége tartós üzemben feszültségszabályozás esetén a szlippel fordított arányban csökken /1.6 ábra/. A terhelhetőség növelése érdekében járulékos forgórész körüli ellenállások bekapcsolása szükséges. A közelítés jóságát azzal lehet becsülni, hogy az R_r/s_v értéke mennyire közelíti meg az R_r értékét, azaz mennyire helytálló az $s_v = 1$ feltevés.



1.6. ábra.

Külön kell tárgyalni a TTO kapcsolást, amely abban különbözik a TT kapcsolástól, hogy az állórész csillagpontja is ki van vezetve. Ekkor a lehetséges felharmonikusok rendszámai:

$$\gamma = 1 + 6 \cdot k \quad \text{és} \quad \gamma = 3 \cdot k, \quad /1.3/$$

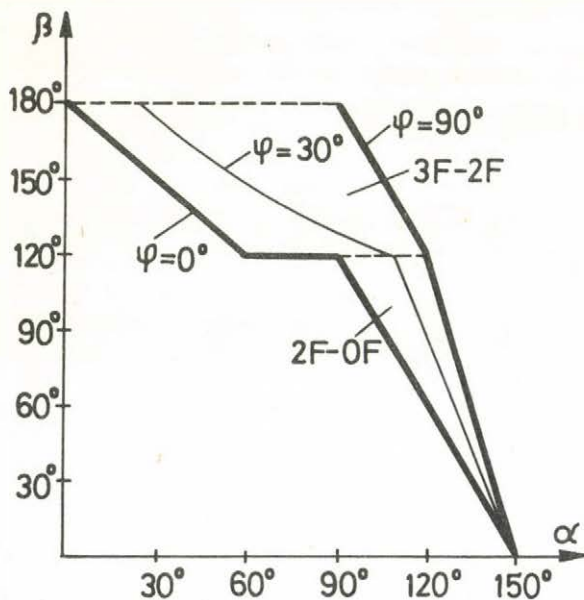
ahol a hárommal osztható rendszámuak a zérussorrendű összetevők /amelyek a kivezetett csillagpont miatt lépnek fel/. Amint fentebb részletesen indokoltuk, a $\gamma = 1, -5, 7, -11, 13 \dots$ rendszámu összetevőkre külön-külön és együttesen is jó közelítéssel érvényes az 1.5 ábrán látható helyettesítő vázlat. Külön megfontolást igényel a zérus sorrendű összetevőkre érvényes helyettesítő kapcsolás. Számítással és méréssel is igazolható, hogy a szélsőséges esetektől eltekintve a TTO kapcsolású szaggatóról táplált aszinkron gépet közelítésként szintén az 1.5. ábrán látható kapcsolással helyettesíthetjük. Csuszógyűrűs motorokra ez a közelítés azonban csak akkor engedhető meg, ha a rotoellenállás százalékos értéke nem túl nagy. Még annyit kell megemlíteni, hogy a kivezetett csillagpont miatt a három fázis egymástól függetlenül vizsgálható.

1.1.2 Passzív R-L kör harmonikus analízise TT és TD kapcsolás esetén

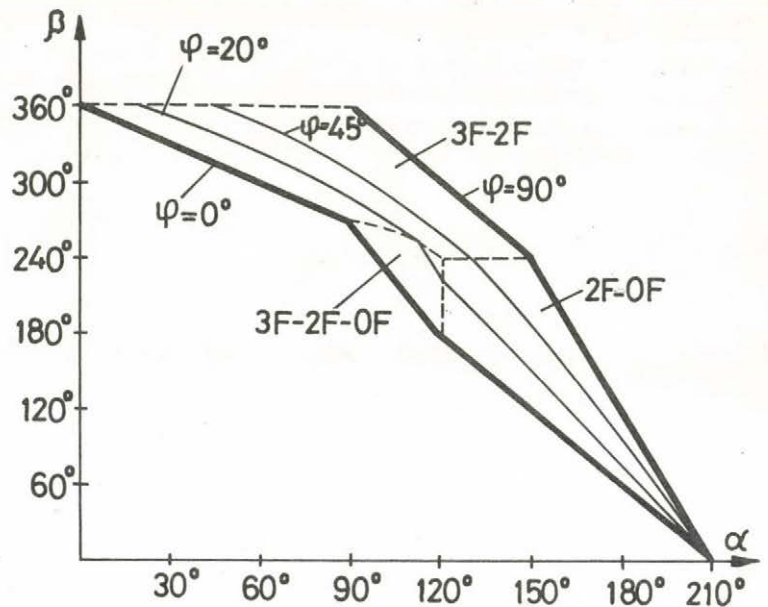
A váltakozóáramu szaggatón keresztül táplált aszinkron gép Park-vektorai állandósult állapotban g-oldaluan szimmetrikusak, ezért elég egy-egy ilyen szakaszt vizsgálni. Ezt a továbbiakban "taktus"-nak nevezzük, és τ -val jelöljük. Egy taktus hossza TT kapcsolásnál $\tau = 60^\circ$, TD kapcsolásnál pedig $\tau = 120^\circ$. Egy taktuson belül TT kapcsolásnál 3F-2F és 2F-OF üzemmód jöhet létre /1.7 ábra/. Az ábrán β egy tirisztoros vezetési szöge, α a hálózati feszültség nullátmenetétől számított gyújtáskésleltetési szög és a terhelés fázisszöge:

$$\varphi = \arccos \{ \bar{Z} \} \quad /1.4/$$

TD kapcsolásnál még 3F-2F-OF üzemmód is létrejöhet, ha $\varphi < 31,6^\circ$ /1.8 ábra/. Itt β egy tirisztor-dióda pár együttes vezetési szöge.



1.7. ábra.



1.8. ábra.

A továbbiakban az A_+ tirisztor gyújtástól számított taktust vizsgáljuk /az 1.2 ill. 1.3 ábrán vastagon kihuzott görbeszakaszok/. Így a $t = 0$ időpontot az A_+ tirisztor gyújtáspillantához rögzítjük.

A passzív körre jutó feszültség időfüggvénye 3F vezetési állapotban megegyezik a hálózati feszültséggel, 2F vezetési állapotban - mint azt az előzőekben említettük - a 3F vezetési állapot megfelelő tengelyre vett vetületével egyenlő, 0F vezetési állapotban pedig zérus:

$$\bar{u}/t/ = U \cdot e^{j/\omega_1 t + \alpha - \frac{\tau}{2}} / \quad \text{ha} \quad 0 < \omega_1 t < \tau_3 \quad /3F/$$

$$= U \cdot e^{j/\tau - \frac{\tau}{2}} \cdot \sin/\omega_1 t + \alpha - \tau + \frac{\tau}{2}/ \quad \text{ha} \quad \tau_3 < \omega_1 t < \tau_3 + \tau_2 \quad /2F/$$

$$= 0 \quad \text{ha} \quad \tau_3 + \tau_2 < \omega_1 t < \tau /0F/ \quad /1.5/$$

Itt említjük meg, hogy azoknak a végképleteknek a számát, amelyeket a számítógépes analízisnél felhasználunk, külön csillaggal jelöljük meg.

Az áram időfüggvényét az 1.2 differenciál-egyenlet megoldásaképpen az

$$\bar{i}/t/ = \bar{I}_0 \cdot e^{j\omega_1 t} + \bar{C} \cdot e^{-\frac{\omega_1 t}{\text{tg}\varphi}} \quad /1.6/$$

alakban kapjuk, ahol \bar{I}_0 egy kialakuló állandósult állapot áramvektora, \bar{C} pedig egy exponenciálisan lecsengő egyenáramu összetevő. Értéke a periodicitás feltételeiből $\bar{i}/\tau/ = \bar{i}/0/ \cdot e^{j\tau} /$ meghatározható. $\bar{i}/t/$ ismeretében meghatározhatjuk a 2F vezetési állapot áram-idő függvényét is, 0F vezetési állapotban pedig $\bar{i}/t/ = 0$.

$$\bar{i}(t) = \frac{U}{Z} e^{j(\omega_1 t + \alpha - \varphi - \frac{\pi}{2})} - \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos \gamma} \cdot e^{-\left(\frac{\omega_1 t}{\text{tg } \varphi} + j\gamma\right)}$$

$$\text{ha } 0 < \omega_1 t < \tau_3 \quad (3F)$$

$$= \frac{U}{Z} e^{j(\tau - \frac{\pi}{2})} \left[\sin(\omega_1 t + \alpha - \varphi - \tau + \frac{\pi}{2}) - \sin(\alpha - \varphi) \right. \\ \left. (\sin \tau + \text{tg } \gamma \cos \tau) e^{-\frac{\omega_1 t}{\text{tg } \varphi}} \right] \quad /1.7/$$

$$\text{ha } \tau_3 < \omega_1 t < \tau \quad (2F)$$

$$\gamma = \arctan \frac{\sin \tau}{\frac{\tau}{e^{\text{tg } \varphi}} - \cos \tau} \quad /1.8/*$$

3F-2F-0F üzemmódban:

$$\bar{i}(t) = \frac{U}{Z} \cdot \left[e^{j(\omega_1 t + \alpha - \varphi - \frac{\pi}{2})} + e^{j(\alpha - \varphi + \frac{\pi}{2})} e^{-\frac{\omega_1 t}{\text{tg } \varphi}} \right]$$

$$\text{ha } 0 < \omega_1 t < \tau_3 \quad (3F)$$

$$= \frac{U}{Z} e^{j(\tau - \frac{\pi}{2})} \left[\sin(\omega_1 t + \alpha - \varphi - \tau + \frac{\pi}{2}) - \right. \\ \left. - \sin(\alpha - \varphi - \tau + \frac{\pi}{2}) e^{-\frac{\omega_1 t}{\text{tg } \varphi}} \right]$$

$$\text{ha } \tau_3 < \omega_1 t < \tau_3 + \tau_2 \quad (2F)$$

/1.9/

= 0

$$\text{ha } \tau_3 + \tau_2 < \omega_1 t < \tau \quad (0F)$$

2F-OF üzemmódban:

$$\bar{i}(t) = \frac{U}{Z} e^{j(\tau - \frac{\pi}{2})} \left[\sin(\omega_1 t + \alpha - \varphi - \tau + \frac{\pi}{2}) - \right. \\ \left. - \sin(\alpha - \varphi - \tau + \frac{\pi}{2}) e^{-\frac{\omega_1 t}{\tan \varphi}} \right] \quad /1.10/$$

$$\text{ha } 0 < \omega_1 t < \tau_2 \quad (2F)$$

$$= 0 \quad \text{ha } \tau_2 < \omega_1 t < \tau \quad (OF)$$

Ha szükségünk van az időfüggvényekre szinkron forgó koordináta-rendszerben is, akkor ezt igen egyszerűen meghatározhatjuk az

$$\bar{x}^*/t/ = \bar{x}/t/ \cdot e^{-j \omega_1 t} \quad /1.11/$$

transzformációval, ahol $\bar{x}/t/$ a függvény az álló koordinátarendszerre, $\bar{x}^*/t/$ pedig a szinkron forgó koordinátarendszerre érvényes.

Az áram időfüggvényének az ismeretében a vezetési állapotok ideje $/\tau_3, \tau_2, \tau_0/$ és a gyújtáskésleltetési szög $/\alpha/$ között fel lehet írni egy összefüggést, azt felhasználva, hogy $\omega_1 t = \tau_3$ /illetve $\omega_1 t = \tau_2$ vagy $\omega_1 t = \tau_3 + \tau_2/$ időpillanatban az áramvektor iránya adott helyzetű.

3F-2F üzemmódban:

$$\alpha = \varphi + \arctg \frac{\sin \tau_2}{\cos \tau_2 + e^{-\frac{\tau_3}{\tan \varphi}} \cdot (\sin \tau \cdot \tan \varphi - \cos \tau)}$$

$$\text{ha } \varphi = 0 \quad \alpha = \tau_2$$

$$\text{ha } \varphi = \frac{\pi}{2} \quad \alpha = \frac{\tau_2 + \pi}{2} \quad /1.12/^{*}$$

3F-2F-OF üzemmódban:

$$\frac{\sin \tau_3}{e^{-\frac{\tau_3}{\operatorname{tg} \varphi}} - \cos \tau_3} = \frac{\cos(\tau_3 + \tau_2) - e^{-\frac{\tau_3 + \tau_2}{\operatorname{tg} \varphi}}}{\sin(\tau_3 + \tau_2)} \quad /1.13/^{**}$$

τ_2 -t felvéve τ_3 -at iterációval meg lehet határozni, majd ennek ismeretében:

$$\alpha = \varphi + \tau + \operatorname{arctg} \frac{\sin \tau_3}{e^{-\frac{\tau_3}{\operatorname{tg} \varphi}} - \cos \tau_3}$$

$$\begin{aligned} \text{ha } \varphi = 0 \quad \tau_2 &= \frac{\pi}{2} \\ 0 < \tau_3 &< \frac{\pi}{6} \\ \alpha &= \tau - \tau_3 \end{aligned}$$

/1.14/^{**}

2F-OF üzemmódban:

$$\alpha = \varphi + \tau + \operatorname{arctg} \frac{\cos \tau_2 - e^{-\frac{\tau_2}{\operatorname{tg} \varphi}}}{\sin \tau_2}$$

$$\text{ha } \varphi = 0 \quad \alpha = \frac{\pi}{2} - \tau_2 + \tau$$

$$\text{ha } \varphi = \frac{\pi}{2} \quad \alpha = \frac{\pi - \tau_2}{2} + \tau$$

/1.15/^{**}

A feszültség alapharmonikusa szinkron forgó koordináta rendszerben megegyezik a feszültségvektor idővel súlyozott számtani középértékével:

$$\bar{f}_1 = \frac{\bar{U}_1}{\bar{U}} = \frac{1}{\tau(\tau)} \int \bar{u}^*/t/dt \quad /1.16/$$

Az integrálást elvégezve:

$$\bar{f}_1 = \frac{2 \cdot \tau_3 + \tau_2 + \sin \tau_2 \cdot e^{-j[2 \cdot (\alpha + \tau_3 - \tau) + \tau_2]}}{2 \cdot \tau} \quad /1.17/^{**}$$

Az áram alapharmonikusa pedig:

$$\bar{I}_1 = \frac{\bar{U}_1}{\bar{Z}} \quad /1.18/^{**}$$

\bar{U}_1 ismeretében a félvezetőpárok helyettesítő impedanciája [2] alapján a következő összefüggéssel adható meg:

$$\bar{Z}_e = \bar{Z} / \frac{\bar{U}}{\bar{U}_1} - 1/ = \bar{Z} \cdot \frac{1}{\bar{f}_1} - 1/ \quad /1.19/^{**}$$

A feszültség felharmonikus tartalmára jellemző mennyiségeket a következőképpen lehet meghatározni:

$$U_{\text{eff}}^2 = \frac{1}{T} \int_{(\tau)} u_a^2/t/dt = \frac{1}{2\tau} \cdot \int_{(\tau)} |\bar{u}/t|^2 dt \quad /1.20/$$

$$U_{1\text{eff}}^2 = \frac{|\bar{U}_1|^2}{2} \quad /1.21/^{**}$$

Az /1.20/-ban kijelölt integrálást elvégezve

$$U_{\text{eff}}^2 = \frac{|\bar{U}|^2}{2 \cdot \tau} \cdot \left[\tau_3 + \frac{\tau_2}{2} + \frac{\sin 2(\alpha + \tau_3 + \tau_2 - \tau) - \sin 2(\alpha + \tau_3 - \tau)}{4} \right] \quad /1.22/^{**}$$

U_{eff} és U_{leff} ismeretében meghatározhatók az

$$\frac{U_{\text{eff}}}{U_{\text{leff}}} \quad \text{és} \quad \frac{\sum_{v \neq 1} U_{v\text{eff}}^2}{U_{\text{leff}}^2} \quad \text{viszonyszámok is:}$$

$$\frac{U_{\text{eff}}}{U_{\text{leff}}} = \sqrt{2} \cdot \frac{U_{\text{eff}}}{|\bar{U}_1|} \quad /1.23/$$

$$\frac{\sum_{v \neq 1} U_{v\text{eff}}^2}{U_{\text{leff}}^2} = \left(\frac{U_{\text{eff}}}{U_{\text{leff}}} \right)^2 - 1 \quad /1.24/$$

A félvezetők áramának a középértékét a feszültség középértékének és a helyettesítő kapcsolás ellenállásának az ismeretében [2] alapján az

$$I_{\text{köz}} = \frac{U_{\text{köz}}}{R} \quad /1.25/$$

képletből lehet meghatározni, ahol

$$U_{\text{köz}} = \frac{1}{2\pi} \operatorname{Re} \left\{ e^{j\tau} \int_{(\tau)} \bar{u}/t/dt \right\} \quad /1.26/$$

Az 1.25 és 1.26 egyenleteket, valamint az

$$I_{\text{köz}} = \frac{|\bar{I}_1|}{\pi} \quad /1.27/$$

összefüggést felhasználva, meghatározható a félvezetőkre nézve az $\frac{I_{\text{köz}}}{I_1}$ viszonzszám.

Ha $\varphi = \frac{\pi}{2}$, azaz $R=0$ az áram középértékét közvetlenül az áram időfüggvényének az integrálásából kaphatjuk meg.

3F-2F Üzem módban:

$$\text{ha } \varphi \neq \frac{\pi}{2}$$

$$\frac{I_{\text{köz}}}{I_{1\text{köz}}} = \frac{\pi}{3 \cdot \tau \cdot |\bar{f}_1| \cos \varphi} \left\{ \cos(\alpha + \tau) - \cos\left(\frac{2\pi}{3} + \alpha - \tau_2\right) + \cos \alpha - \right. \\ \left. - \cos(\alpha - t^*) + \sin \tau \cdot [\sin \alpha - \sin(\alpha - \tau_2)] \right\} \quad /1.28/^{**}$$

ahol TT kapcsolásnál $t^* = 0$, TD kapcsolásnál pedig a

$$\sin(t^* + \alpha - \varphi) - \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos \delta} \cdot \cos(\gamma - \tau) \cdot e^{-\frac{t^* - \tau}{\tau \tan \varphi}} = 0 \quad /1.29/^{**}$$

egyenletből kell t^* -ot meghatározni,

$$\text{ha } \varphi = \frac{\pi}{2}$$

$$\frac{I_{\text{köz}}}{I_{1\text{köz}}} = 2\pi \frac{\frac{3}{\pi}(\tau - \frac{\pi}{3}) + \sin \alpha + (\frac{7\pi}{6} - \alpha) \cdot \cos \alpha}{3\pi + 6(\tau - \alpha + \sin \alpha \cdot \cos \alpha)} \quad /1.30/^{**}$$

3F-2F-0F Üzem módban:

$$\frac{I_{\text{köz}}}{I_{1\text{köz}}} = \frac{\cos \alpha - \cos(\alpha + \tau_3) + \sin \tau \left[\cos(\alpha + \tau_3 - \frac{\pi}{6}) - \cos(\alpha + \tau_3 + \tau_2 - \frac{\pi}{6}) \right]}{2 |\bar{f}_1| \cdot \cos \varphi} \quad /1.31/^{**}$$

2F-OF Üzem módban:

$$\text{ha } \varphi \neq \frac{\pi}{2}$$

$$\frac{I_{\text{köz}}}{I_{1\text{köz}}} = \frac{\pi \cdot \sin \tau}{3 \cdot \tau \cdot \left| \bar{f}_1 \right| \cdot \cos \varphi} \left[\cos \left(\alpha - \tau + \frac{\pi}{2} \right) - \cos \left(\alpha + \tau - \tau + \frac{\pi}{2} \right) \right] \quad /1.32/^{**}$$

$$\text{ha } \varphi = \frac{\pi}{2}$$

$$\begin{aligned} \frac{I_{\text{köz}}}{I_{1\text{köz}}} = \frac{\pi}{3} & \frac{[3 + 4(\alpha + \tau + \frac{\pi}{2}) \cdot \cos \tau \cdot \sin \tau] \cdot \sin \alpha +}{\pi + \sin \alpha \cdot \cos \alpha + 2(\tau - \alpha) + 4 \cdot \cos \tau \cdot \sin \tau \cdot (\cos^2 \alpha - \frac{1}{2})} + \\ & + \frac{[4 \cos \tau \cdot \sin \tau + 3(\tau - \alpha + \frac{\pi}{2})] \cos \alpha}{\pi + \sin \alpha \cdot \cos \alpha + 2(\tau - \alpha) + 4 \cos \tau \cdot \sin \tau (\cos^2 \alpha - \frac{1}{2})} \end{aligned}$$

Az áram felharmonikus tartalmára jellemző viszonzyszámokat [2] alapján a következő összefüggésekből határozhatjuk meg:

$$\frac{\sum I^2}{\frac{v_{\neq 1} v_{\text{eff}}}{I_{1\text{eff}}^2}} = \frac{\text{Re} \{ Z_e \}}{R} \quad /1.34/^{**}$$

$$\frac{I_{\text{eff}}}{I_{1\text{eff}}} = \sqrt{\frac{\sum I^2}{\frac{v_{\neq 1} v_{\text{eff}}}{I_{1\text{eff}}^2}} + 1} \quad /1.35/^{**}$$

Ha az R-L kör tiszta induktív jellegű, azaz $\varphi = \frac{\pi}{2}$, akkor az

$\frac{I_{\text{eff}}}{I_{1\text{eff}}}$ viszonyt közvetlenül az áramból lehet meghatározni, és az

1.35 egyenlet átalakításával meghatározható a $\frac{\sum I^2}{\frac{v_{\neq 1} v_{\text{eff}}}{I_{1\text{eff}}^2}}$ viszony-

szám is. A $\varphi = \frac{\pi}{2}$ esetre a következő összefüggéseket lehet levezetni:

3F-2F üzemmódban:

TT kapcsolásnál

$$\left(\frac{I_{\text{eff}}}{I_{\text{leff}}}\right)^2 = 12\pi \cdot \frac{\frac{5\pi}{6} - \alpha + 3 \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha + \left(\frac{7\pi}{3} - 2\alpha\right) \cdot \cos^2\alpha}{(5\pi - 6\alpha + 6 \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha)^2}$$

/1.36/*

TD kapcsolásnál

$$\left(\frac{I_{\text{eff}}}{I_{\text{leff}}}\right)^2 = 32\pi \cdot \frac{\frac{7\pi}{8} - \frac{3}{4}\alpha + \frac{9}{4} \sin\alpha \cdot \cos\alpha + \left(\frac{17\pi}{12} - \frac{3}{2}\alpha\right) \cdot \cos^2\alpha}{(7\pi - 6\alpha + 6 \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha)^2}$$

/1.37/*

2F-0F üzemmódban:

TT kapcsolásnál

$$\begin{aligned} \left(\frac{I_{\text{eff}}}{I_{\text{leff}}}\right)^2 = 12\pi \cdot \frac{\frac{5\pi}{4} - \frac{3}{2}\alpha - \frac{3\sqrt{3}}{4} + \left(\frac{3}{2} + \sqrt{3}\alpha - \frac{5\sqrt{3}\pi}{6}\right) \sin\alpha \cdot \cos\alpha +}{[5\pi - 6\alpha + 3\sqrt{3} \cdot (\cos^2\alpha - \frac{1}{2}) + 3 \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha]^2} + \\ + \frac{\left(\frac{3\sqrt{3}}{2} + \frac{5\pi}{6} - \alpha\right) \cos^2\alpha}{[5\pi - 6\alpha + 3\sqrt{3} \cdot (\cos^2\alpha - \frac{1}{2}) + 3 \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha]^2} \end{aligned}$$

/1.38/*

TD kapcsolásnál

$$\left(\frac{I_{\text{eff}}}{I_{\text{leff}}}\right)^2 = 24\pi \cdot \frac{\frac{7\pi}{6} - \alpha - \frac{\sqrt{3}}{4} + \frac{3}{2} \sin\alpha \cdot \cos\alpha + \left(\frac{7\pi}{9} - \frac{2}{3}\alpha - \frac{\sqrt{3}}{6}\right) \cos^2\alpha}{[7\pi - 6\alpha - 3\sqrt{3} \cdot (\cos^2\alpha - \frac{1}{2}) + 3 \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha]^2}$$

/1.39/*

1.1.3 Passzív R-L kör harmonikus analízise TTO kapcsolás esetén

TTO kapcsolásban a kivezetett csillagpont következtében a zérussorrendű áram kivételével az összes többi mennyiségre nézve a három fázis egymástól függetlenül vizsgálható. Így ebben az esetben célszerű időfüggvényekkel számolni. Ezért ebben a fejezetben a vektor jelet a komplex mennyiségek jelölésére használjuk.

Még azt kell megemlíteni, hogy az 1.1.2 fejezet egyes összefüggései /amelyekre ebben a fejezetben hivatkozunk/ és az 1.2 fejezet összes összefüggése formálisan helyes erre a kapcsolásra is, csak a vektor jel itt komplex mennyiséget jelöl.

Ennél a kapcsolásnál egy taktus hossza $\tau = 180^\circ$. Ezen belül háromféle üzemmód létezik, amelyek azonban csak a zérussorrendű áram meghatározásánál van szerepe. Egy fázis vezetési idejét τ_1 -el jelölve, az üzemmódok a következők:

$120^\circ < \tau_1 < 180^\circ$	3F-2F	
$60^\circ < \tau_1 < 120^\circ$	2F-1F	
$0^\circ < \tau_1 < 60^\circ$	1F-0F	/1.40/

Az ismétlések elkerülése végett ebben a fejezetben egy-két kivételtől eltekintve, már csak a képletek felsorolására szorítunk, mert az előző fejezetben leírtak értelemszerűen ebben a fejezetben is alkalmazhatók.

$$\tau = \tau_1 + \tau_0 \quad 1/1.41/$$

$$\begin{aligned} U/t/ &= U \cdot \sin/\omega_1 t + \alpha/ & \text{ha} & \quad 0 < \omega_1 t < \tau_1 \\ &= 0 & \text{ha} & \quad \tau_1 < \omega_1 t < \tau \end{aligned} \quad 1/1.42/$$

$$i/t/ = \frac{U}{Z} \sin/\omega_1 t + \alpha - \varphi/-\sin / \alpha - \varphi/.$$

$$.e^{-\frac{\omega_1 t}{\tau_1 \tan \varphi}}$$

$$\text{ha} \quad 0 < \omega_1 t < \tau_1$$

$$= 0$$

$$\text{ha} \quad \tau_1 < \omega_1 t < \tau$$

/1.43/

$$\alpha = \varphi + \arctan \frac{\sin \tau_1}{e^{-\frac{\tau_1}{\tau_1 \tan \varphi}} - \cos \tau_1}$$

$$\text{ha} \quad \varphi = 0 \quad \alpha = \pi - \tau_1$$

$$\text{ha} \quad \varphi = \frac{\pi}{2} \quad \alpha = \pi - \frac{\tau_1}{2}$$

/1.44/*

$$\bar{f}_1 = \frac{\bar{U}_1}{\bar{U}} = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\tau_1 - \sin \tau_1 \cdot e^{-j/2\alpha + \tau_1/} \right]$$

/1.45/*

Az áram alapharmonikusa és a félvezetőpárok helyettesítő impedanciája az 1.18 illetve 1.19 egyenlettel határozható meg.

$$U_{\text{eff}}^2 = \frac{U^2}{2\pi} \cdot \left[\tau_1 - \sin \tau_1 \cdot \cos / 2\alpha + \tau_1 / \right] = \frac{U^2 \cdot \text{Re} \{ \bar{f}_1 \}}{2}$$

/1.46/*

Érvényesek még az 1.23 és az 1.24 összefüggések is,

$$\text{ha } \varphi \neq \frac{\pi}{2}$$

$$\frac{I_{\text{köz}}}{I_{1\text{köz}}} = \frac{\cos \alpha - \cos(\alpha + \tau_1)}{2 \cdot |f_1| \cdot \cos \varphi} \quad /1.47/^{**}$$

$$\text{ha } \varphi = \frac{\pi}{2}$$

$$\frac{I_{\text{köz}}}{I_{1\text{köz}}} = \frac{\pi \sin \alpha + (\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha}{\pi - \alpha + \sin \alpha \cdot \cos \alpha} \quad /1.48/^{**}$$

Ha $\varphi \neq \frac{\pi}{2}$ az $\frac{I_{\text{eff}}}{I_{1\text{eff}}}$ és $\frac{\sum_{v \neq 1} I_{v\text{eff}}^2}{I_{1\text{eff}}^2}$ viszonyszámok az 1.34 és

1.35 egyenletekből határozhatók meg, ha pedig $\varphi = \frac{\pi}{2}$

$$\left(\frac{I_{\text{eff}}}{I_{1\text{eff}}} \right)^2 = \pi \cdot \frac{(\pi - \alpha) \cdot (\cos^2 \alpha + \frac{1}{2}) + \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{(\pi - \alpha + \sin \alpha \cdot \cos \alpha)^2} \quad /1.49/^{**}$$

A nullvezető áramát a három fázisáram összege alkotja. A különböző üzemmódokban ez a következőképpen alakul:

3F-2F	2F-1F	1F-0F	
$i_o = i_{a+} + i_{b-} + i_{c+}$	$i_o = i_{a+} + i_{b-}$	$i_o = i_{a+}$	ha $0 < \omega_1 t < \tau_1$
$i_o = i_{a+} + i_{b-}$	$i_o = i_{a+}$	$i_o = 0$	ha $\tau_1 < \omega_1 t < \tau$

/1.50/^{**}

Az egyes fázisáramok időfüggvények /a $t=0$ időpont az A_+ tirisztor gyújtáspillantata/:

$$i_{a+} = \frac{U}{Z} \left[\sin(\omega_1 t + \alpha - \varphi) + \sin(\alpha - \varphi) \cdot e^{-\frac{\omega_1 t}{\operatorname{tg} \varphi}} \right]$$

$$i_{b-} = \frac{U}{Z} \left[\sin(\omega_1 t + \alpha - \varphi - \frac{2\pi}{3}) + \sin(\alpha - \varphi) \cdot e^{-\frac{\omega_1 t + \frac{\pi}{3}}{\operatorname{tg} \varphi}} \right]$$

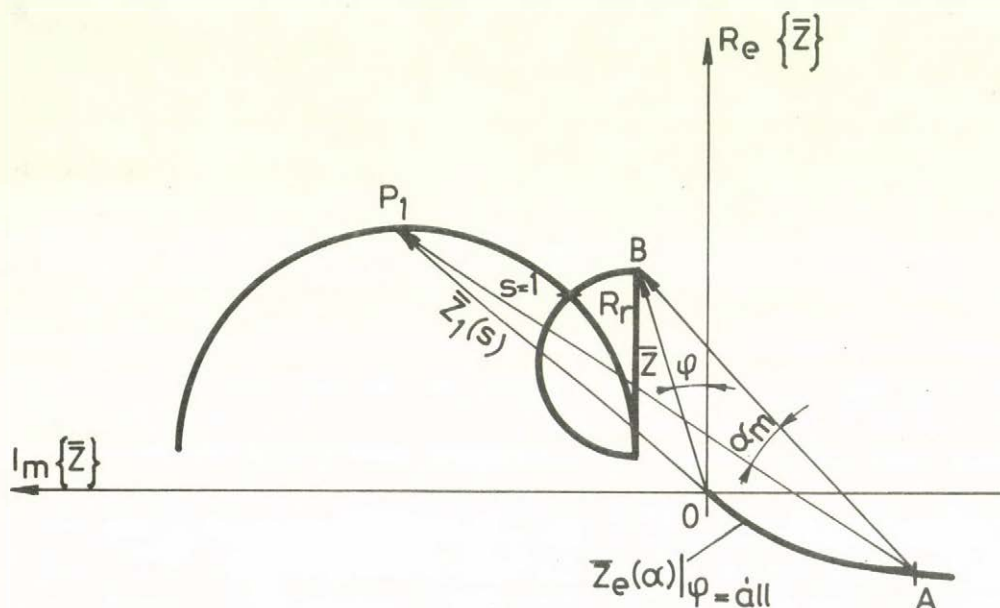
$$i_{c+} = \frac{U}{Z} \left[\sin(\omega_1 t + \alpha - \varphi + \frac{2\pi}{3}) - \sin(\alpha - \varphi) \cdot e^{-\frac{\omega_1 t + \frac{2\pi}{3}}{\operatorname{tg} \varphi}} \right]$$

/1.51/

A fenti képletekből látható, hogy az I_{oeff} érték meghatározására bonyolult összefüggés adódna, ezért célszerű I_{oeff} -t numerikus integrálással meghatározni annál is inkább, mivel az i_o^2/t függvény 60° -ra periódikus, így az integrálást elég $\frac{\pi}{3}$ időtartamra elvégezni.

1.2 Közelítő számítási módszerünk alkalmazása háromfázisu aszinkron gép esetén

Az 1.5 ábrán látható helyettesítő kapcsolással az ohmos-induktív terhelésre nyert eredményeket aszinkron gépre is alkalmazhatjuk. Figyelembe kell venni, hogy az \bar{U}_h hálózati feszültségen kívül, az alapharmonikus \bar{U}' feszültségre is tekintettel kell lenni és különbségük adja a passzív körre jutó feszültséget.



1.9. ábra.

Az 1.9 ábrán látható a gép alapharmonikus impedancia-kördiagrammja, mint a szokásos áramkördiagramm inverze. \bar{Z} jelöli a gép statikus közelítő impedanciáját, \bar{Z}_1 az aszinkron gép szliptől függő alapharmonikus impedanciáját, \bar{Z}_e pedig a félvezetőpárok gyújtásszög késleltetéstől függő impedanciáját. Az ábrából leolvasható, hogy az $\overline{AP_1}$ vektornak a valódi \bar{U}_h hálózati feszültség felel meg, az \overline{AB} vektornak pedig a statikus helyettesítő kapcsolás \bar{U} feszültsége, $\overline{OP_1}$ -nek az aszinkron gép állórészére jutó feszültség, stb.

Bevezetve az

$$\bar{N} = \frac{1 - \bar{f}_1}{\bar{f}_1} \cdot \bar{Y}_1 + \bar{Y} \quad /1.52/^{**}$$

jelölést $\bar{Y}_1 = \frac{1}{\bar{Z}_1}$; $\bar{Y} = \frac{1}{\bar{Z}}$ /, a fentiekben említett feszültségek a

következőképpen írhatók fel:

$$\bar{U}_{s1} = \bar{U}_h \cdot \frac{\bar{Y}}{\bar{N}} \quad /1.53/^{**}$$

$$\bar{U}_{t1} = \bar{U}_h - \bar{U}_{s1} = \bar{U}_h / 1 - \frac{\bar{Y}}{\bar{N}} / \quad /1.54/^{**}$$

$$\bar{U}' = \bar{U}_h \cdot / 1 - \frac{\bar{Y}_1}{\bar{f}_1 \cdot \bar{N}} / \quad /1.55/^{**}$$

$$\bar{U} = \bar{U}_h - \bar{U}' = \bar{U}_h \cdot \frac{\bar{Y}_1}{\bar{f}_1 \cdot \bar{N}} \quad /1.56/^{**}$$

Még figyelembe kell venni, hogy az α gyújtáskésleltetési szög 1.9 ábra \overline{AB} vektorának megfelelő \bar{U} feszültségre vonatkozik, ezzel szemben a "valódi" gyújtáskésleltetési szöget $/\alpha^*/$ az \bar{U}_h hálózati feszültség nullátmenetétől kell mérni, ezért α -t α_m -el módosítani kell, hogy az α^* -ot megkapjuk:

$$\alpha^* = \alpha + \alpha_m \quad /1.57/^{**}$$

$$\alpha_m = - \arccos \left\{ \bar{U} \right\} = - \arccos \left\{ \frac{\bar{Y}_1}{\bar{f}_1 \cdot \bar{N}} \right\} \quad /1.58/^{**}$$

TT és TD kapcsolásnál 2F vezetési állapotban [3] alapján a félvezetők feszültség-igénybevétele az

$$U_{ta} = \frac{3}{2} \operatorname{Re} \left\{ \frac{\bar{Y}_1}{\bar{f}_1 \cdot \bar{N}} \cdot U_h \cdot e^{j/\omega_1 t + \alpha - \frac{\pi}{2}} \right\} \quad /1.59/^{**}$$

időfüggvényből határozható meg. Itt a t érvényességi tartománya függ az üzemmódtól:

$$3F-2F\text{-ben} \quad -\tau_2 < \omega_1 t < 0$$

$$3F-2F-0F\text{-ben} \quad \tau_3 - \tau < \omega_1 t < \tau_3 + \tau_2 - \tau \quad /1.60/^{**}$$

$$2F-0F\text{-ben} \quad -\tau < \omega_1 t < \tau_2 - \tau$$

Azt is meg kell vizsgálni, hogy U_{ta} felveszi-e a csúcserőértéket az adott intervallumban, mert ha nem, akkor a maximális záróirányú feszültség a 2F vezetési állapot elején vagy végén jelentkezik.

Bevezetve

$$\bar{C} = \frac{\bar{Y}_1}{\bar{f}_1 \cdot \bar{N}} \cdot U_h = C \cdot e^{j\kappa} \quad /1.61/^{**}$$

jelölést, az /1.59/ a következő alakban írható fel:

$$U_{ta} = \frac{3}{2} \operatorname{Re} \left\{ \bar{C} \cdot e^{j/\omega_1 t + \alpha + \kappa - \frac{\pi}{2}} \right\} \quad /1.62/^{**}$$

Az /1.62/ kifejezés hatványkitevőjébe behelyettesítve az /1.60/-ban megadott határokat, eldönthető, hogy U_{ta} felveszi-e a csúcserőértékét.

Az aszinkron gép sztátorfeszültségének az effektív értékét [2] és [3] alapján a passzív kör

$$\frac{\sum_{v \neq 1} U_{veff}^2}{U_{leff}^2} \quad \text{viszonyszámának az ismeretében az}$$

$$U_{seff} = \sqrt{U_{sleff}^2 + \frac{\sum_{v \neq 1} U_{veff}^2}{U_{leff}^2} \cdot \left| \frac{\bar{Y}_1(s)}{\bar{N}} \right|^2}_{R-L \text{ kör}} \quad /1.63/^{**}$$

összefüggésből lehet meghatározni.

Az alapharmonikus nyomaték csökkenése a motorra jutó alapharmonikus feszültség négyzetével arányosan csökken:

$$M = M/s/ \cdot \left/ \frac{U_{s1}}{U_h} \right/ ^2 \quad /1.64/^{**}$$

Mivel az áramgörbék alakja változatlan marad, a félvezető párokat az alapharmonikus szempontból ugyanazzal a \bar{Z}_e impedanciával lehet helyettesíteni, mint az R-L helyettesítő kapcsolás esetében, és az áram felharmonikus-tartalmára vonatkozó viszonyszámok sem változnak. Így \bar{I}_{s1} ismeretében meghatározhatók a félvezetők és az aszinkron gép áramigénybevételei is:

$$\bar{I}_{s1} = \bar{U}_{s1} \cdot \bar{Y}_1 = \bar{U}_h \cdot \frac{\bar{Y} \cdot \bar{Y}_1}{\bar{N}} \quad /1.65/^{**}$$

$$I_{sleff} = \frac{|\bar{I}_{s1}|}{\sqrt{2}} \quad /1.66/^{**}$$

$$I_{seff} = I_{sleff} \cdot \frac{I_{eff}}{I_{leff}} \quad /1.67/^{**}$$

$$I_{fveff} = \frac{I_{seff}}{\sqrt{2}} \quad /1.68/^{**}$$

$$I_{fvköz} = \frac{|I_{sl}|}{\eta} \cdot \frac{I_{köz}}{I_{lköz}} \quad /1.69/^{**}$$

$$I_{rleff} = \frac{I_{sl}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\bar{Z}_m}{\bar{Z}_m + \bar{Z}_r} \quad /1.70/^{**}$$

$$I_{reff} \approx \sqrt{I_{rleff}^2 + I_{seff}^2 - I_{sleff}^2} \quad /1.71/^{**}$$

A gép veszteségeit, felvett hatásos és meddő teljesítményét, valamint a leadott mechanikai teljesítményt a fentebb meghatározott mennyiségekből már egyszerűen meg lehet határozni:

$$P_{cu} = R_s \cdot I_{seff}^2 + R_r \cdot I_{reff}^2 \quad /1.72/^{**}$$

$$P_{cul} = R_s \cdot I_{sleff}^2 + R_r \cdot I_{rleff}^2 \quad /1.73/^{**}$$

$$\sum_{v \neq 1} P_{cuv} = P_{cu} - P_{cul} \quad /1.74/^{**}$$

$$P_{Fe} = U_{seff}^2 / R_v \quad /1.75/^{**}$$

$$P_{fel} = U_{heff} \cdot I_{sleff} \cdot \cos \varphi_1 \quad /1.76/^{**}$$

$$Q_{fel} = U_{heff} \cdot I_{sleff} \cdot \sin \varphi_1 \quad /1.77/^{**}$$

ahol φ_1 a hálózati feszültségvektor és az állórész alapharmonikus áramvektora közötti szög.

$$P_{\text{mech}} = M \cdot \omega \quad /1.78/*$$

A fenti kifejezésben a külső rotor ellenállásnak - a szkin hatás miatti - változásától eltekintettünk.

1.3 A külföldi irodalomban leginkább elterjedt közelítő módszer ismertetése

Ez a közelítő módszer - mely mint a fejezet címéből is látszik, külföldön terjedt el és mind a Szovjetunióban, mind nyugaton előszeretettel használják az aszinkron motor analíziséhez - azon az elven alapszik, hogy az aszinkron gép szlipjétől függő alapharmonikus impedanciáját meghatározva, a rendszert mint egy soros $R/s/-L/s/$ körből álló passzív terhelésű fogyasztót tárgyalja. A 1.4 ábrán látható helyettesítő kapcsolás alapharmonikusokra érvényes és csak a fordulatszámától függő motor impedanciájából a következőképpen határozható meg a passzív terhelés impedanciája.

$$\bar{Z} = R/s/+j\omega_1 L/s/ = R_s + j\omega_1 L'_s + \frac{j\omega_1 \cdot L_m \cdot R_r}{R_r + j\omega_1 \cdot L_m \cdot s} \quad /1.79/*$$

Az így nyert $R/s/-L/s/$ kör harmonikus analízise ezután - adott szlip esetén - elvégezhető, mint egy passzív terhelés harmonikus analízise az 1.1.2 és 1.1.3 fejezetekben leírtak alapján.

Mivel mind az $R/s/$, mind az $L/s/$ fordulatszámfüggő, a passzív kör analízisét minden egyes fordulatszámon meg kell ismételni. Ezenkívül bizonyítható, hogy ezzel a módszerrel nyert közelítés sokkal pontatlanabb eredményt ad, mint az előzőekben ismertetett közelítés.

2. ASZINKRON GÉP ANALIZISE NÉGY ENERGIATÁROLÓ FIGYELEMBEVÉTELÉVEL

Ennél a módszernél az aszinkron gép általános /tranziensekre is érvényes/ egyenleteiből kell kiindulni. Ezek [9] és [10] alapján álló koordináta rendszerben a következők:

$$\bar{u}_s = \frac{d\bar{\Psi}_s}{dt} + \frac{\bar{\Psi}_s - \bar{\Psi}_r}{T'_s} \quad /2.1./$$

$$\bar{u}_r = 0 = \frac{d\bar{\Psi}_r}{dt} - j\omega\bar{\Psi}_r + \frac{\bar{\Psi}_r - 1 - \sigma/\bar{\Psi}_s}{T'_r} \quad /2.2/$$

ahol: \bar{u}_s az állórész feszültségek Park-vektora,

\bar{u}_r a forgórész feszültségek Park-vektora,

$\bar{\Psi}_s$ az állórész fluxusok Park-vektora,

$\bar{\Psi}_r$ a forgórész fluxusok Park-vektora,

ω a forgórész szögsebessége,

$T'_s = \frac{L'_s}{R_s}$ az állórész tranziens időállandója,

$T'_r = \frac{L'_s \cdot L_m}{L_s \cdot R_r}$ a forgórész tranziens időállandója,

$\sigma = \frac{L'_s}{L_s}$ szórási együttható.

A motor nyomatéka:

$$m = \bar{\Psi}_s \times \bar{i}_s = \frac{1}{L'_s} \bar{\Psi}_s \times \bar{\Psi}_r \quad /2.3/$$

időben nem állandó, ezért a hajtás fordulatszáma sem lesz állandó.
A mozgásegyenlet:

$$m - m_t = \Theta \frac{dw}{dt}, \quad /2.4/$$

ahol m_t a terhelő nyomaték,
 Θ az aszinkron gép és a terhelés
együttes tehetetlenségi nyomatéka.

A 2.1 - 2.4 egyenletek differenciál-egyenletrendszert alkotnak, amely azonban nemlineáris. A gyakorlatban előforduló rendszerek-nél a Θ tehetetlenségi nyomaték olyan nagy, hogy a fordulatszám változása állandósult tranziens állapot esetében elhanyagolható. Elvégzett ellenőrző számításokból kiderült, hogy a $w = \text{állandó}$ feltételezés relatív egységekben kb. 10^{-4} nagyságrendű hibát eredményez, tehát az $w = \text{állandó}$ közelítés gyakorlatilag nem okoz hibát. Ebben az esetben viszont csak 2.1 és 2.2 egyenleteket kell megoldani, amelyek már lineárisak, így a differenciál-egyenletrendszer analitikusan megoldható.

Állapottér módszert használva - állapotváltozóknak a $\bar{\Psi}_s$ és $\bar{\Psi}_r$ fluxusokat felvéve, a 2.1 és 2.2 egyenletek a következő alakban írhatók fel:

$$\frac{d\underline{x}}{dt} = \underline{A}_3 \underline{x} + \underline{B}_3 \cdot \underline{u}$$

$$\text{ahol } \underline{x} = \begin{bmatrix} \Psi_{sx} \\ \Psi_{sy} \\ \Psi_{rx} \\ \Psi_{ry} \end{bmatrix} \quad \begin{aligned} \bar{\Psi}_s &= \Psi_{sx} + j\Psi_{sy} \\ \bar{\Psi}_r &= \Psi_{rx} + j\Psi_{ry} \end{aligned}$$

$$\underline{A}_3 = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T'_s} & 0 & \frac{1}{T'_s} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{T'_s} & 0 & \frac{1}{T'_s} \\ \frac{1-\sigma}{T'_r} & 0 & -\frac{1}{T'_r} & -w \\ 0 & \frac{1-\sigma}{T'_r} & w & -\frac{1}{T'_r} \end{bmatrix} \quad /2.5/*$$

$$\underline{B}_{3-u} = \begin{bmatrix} U_h & 0 \\ 0 & U_h \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \omega_1 t \\ \sin \omega_1 t \end{bmatrix}$$

A 2.5 összefüggések mindhárom fázisával a hálózatra kapcsolt aszinkron gép egyenletei, ezért ezek a 3F vezetési állapot ideje alatt érvényesek.

Bebizonyítható, hogy a 2F vezetési állapot összefüggései a következőképpen határozhatók meg a 2.5 összefüggésekből:

$$\frac{dx}{dt} = \underline{A}_2 \cdot \underline{x} + \underline{B}_2 \cdot \underline{u}$$

$$\text{ahol } \underline{A}_2 = \underline{V}_{32} \cdot \underline{A}_3$$

$$\underline{B}_2 = \underline{V}_{32} \cdot \underline{B}_3$$

/2.6/*

$$\underline{V}_{32} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

OF vezetési állapotban pedig

$$\frac{dx}{dt} = \underline{A}_0 \cdot \underline{x} + \underline{B}_0 \cdot \underline{u}$$

ahol

$$\underline{A}_0 = \underline{V}_{20} \cdot \underline{A}_2$$

$$\underline{B}_0 = \underline{V}_{20} \cdot \underline{B}_2 = \underline{0}$$

$$\underline{V}_{20} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad /2.7/$$

3F vezetési állapotban a 2.5 differenciál-egyenletrendszer megoldása:

$$\underline{x}/t/ = \underline{x}_{p3}/t/ + e^{\underline{A}_3/t-t_0/} \cdot \underline{C} \quad /2.8/$$

ahol $\underline{x}_{p3}/t/$ az inhomogén egyenletrendszer egy tetszőleges partikuláris megoldása,

\underline{C} a kezdeti feltételeket figyelembevévő vektor.

Figyelembe véve a $\underline{B}_3 \cdot \underline{u}$ gerjesztő függvény /2.5/-ben adott alakját, a partikuláris megoldás a következőképpen írható fel:

$$\underline{x}_{p3}/t/ = \underline{x}_{p3} \cdot \underline{g} / \omega_1 t / \quad /2.9/$$

ahol

$$\underline{g} / \omega_1 t / = \begin{bmatrix} \cos \omega_1 \cdot t \\ \sin \omega_1 \cdot t \end{bmatrix}$$

Érvényesek a következő összefüggések:

$$\underline{J} = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} ; \quad \frac{d\underline{g}}{dt} = \underline{J} \cdot \underline{g} ; \quad \underline{J}^2 = -\underline{E}_2$$

$$\underline{J}^* = \underline{J}^{-1} = -\underline{J}$$

$$\underline{g} [\omega_1 t + \tau] = e^{\underline{J} \omega_1 \tau} \cdot \underline{g} / \omega_1 t / \quad /2.10/$$

$$e^{\underline{J} \omega_1 \tau} = \underline{P}_2 / \tau / = \begin{bmatrix} \cos \omega_1 \tau & -\sin \omega_1 \tau \\ \sin \omega_1 \tau & \cos \omega_1 \tau \end{bmatrix}$$

A 2.10 összefüggéseket figyelembe véve \underline{x}_p meghatározható, ha az $\underline{x}/t/$ állapotvektor 2.8-as kifejezést 2.5-be helyettesítve, elvégezzük a megfelelő átalakításokat:

$$\underline{x}_{p3} = -/\omega_1^2 \cdot \underline{E} + \underline{A}_3^2 /^{-1} \cdot / \underline{A}_3 \cdot \underline{B}_3 + \underline{B}_3 \cdot \underline{J} \cdot \omega_1 / \quad /2.11/$$

Egy, a t_0 időpontban zérus kezdeti feltétellel rendelkező megoldás értéke a $t_0 + \tau_3$ pillanatban a következő összefüggéssel számítható:

$$\underline{x}_3 = \underline{x}/t_0 + \tau_3 / = \underline{x}_{p3}/t_0 + \tau_3 / - \underline{x}_3 \cdot \underline{x}_{p3}/t_0 / \quad /2.12/$$

$$\text{ahol} \quad \underline{x}_3 = e^{\underline{A}_3 \tau_3} \quad /2.13/$$

A fent leírtakhoz teljesen hasonló módon lehet megoldani 2.6 és 2.7 differenciál-egyeletrendszer, a 2F illetve OF vezetési állapotokra is:

2F vezetési állapotban:

$$\underline{y}_2 = \underline{x}_{p2} \cdot g [\omega_1 / t_0 + \tau_3 + \tau_2 /] - \underline{x}_2 \cdot \underline{x}_{p2} \cdot g [\omega_1 / t_0 + \tau_3 + \tau_2 /]$$

ahol

$$\underline{x}_{p2} = -/\omega_1^2 \cdot \underline{E} + \underline{A}_2^2 /^{-1} \cdot / \underline{A}_2 \cdot \underline{B}_2 + \underline{B}_2 \cdot \underline{J} \cdot \omega_1 / \quad /2.14/$$

$$\underline{x}_2 = e^{\underline{A}_2 \tau_2}$$

OF vezetési állapotban $\underline{x}_{p0} = 0$ a $\underline{B}_0 = 0$ összefüggés következtében, így $\underline{y}_0 = 0$ kifejezés adódik az inhomogén differenciálegyenletrendszer megoldására.

A vezetési állapotok ismeretében a következő feltételek segítségével lehet meghatározni az egyes üzemmódokban az állandósult állapotot:

3F-2F üzemmódban:

$$\underline{x}_{03} = \underline{y}_3 + \underline{x}_3 \cdot \underline{x}_0$$

$$\underline{x}_1 = \underline{y}_2 + \underline{x}_2 \cdot \underline{x}_{03}$$

$$\underline{x}_1 = \underline{P} \cdot \underline{x}_0 \quad /2.15/$$

ahol: \underline{x}_0 az állapotvektor értéke a $t=t_0$ időpontban

\underline{x}_{03} az állapotvektor értéke a $t=t_0 + \tau_3$ időpontban

\underline{x}_1 az állapotvektor értéke a $t=t_0 + \tau$ időpontban

\underline{P} a periodicitási mátrix

$$\underline{P} = \begin{bmatrix} \cos \tau & -\sin \tau & 0 & 0 \\ \sin \tau & \cos \tau & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \tau & -\sin \tau \\ 0 & 0 & \sin \tau & \cos \tau \end{bmatrix} \quad /2.16/*$$

A fenti összefüggésekből a következő eredményt kapjuk:

$$\underline{x}_0 = \underline{K1} \cdot \{ \underline{K2} \cdot \underline{g}[\omega_1/t_0 + \tau_3/] - \underline{K3} \cdot \underline{g}[\omega_1/t_0 + \tau_3/] - \underline{K4} \cdot \underline{g}/\omega_1 t_0/ \}$$

$$\text{ahol } \underline{K1} = \sqrt{P - \underline{x}_2 \cdot \underline{x}_3}^{-1}$$

$$\underline{K2} \equiv \underline{x}_{p2}$$

$$\underline{K3} = \underline{x}_2 \cdot \underline{x}_{p2} - \underline{x}_{p3}/$$

/2.17/*

$$\underline{K4} = \underline{x}_2 \cdot \underline{x}_3 \cdot \underline{x}_{p3}$$

A t_0 időpont \underline{x}_0 ismeretében abból a feltételből határozható meg, hogy a $t=t_0 + \tau_3$ időpontban az áram x irányu komponense zérussá válik / tirisztóráram kialvása/:

$$\underline{k}_{ix}^* \cdot [\underline{y}_3 + \underline{x}_3 \cdot \underline{x}_0] = 0 \quad /2.18/$$

Ezt rendezve, a következő összefüggést kapjuk:

$$\omega_1 t_0 = \arctg \frac{k_1}{k_2} \quad /2.19/*$$

$$\text{ahol: } \underline{k}_{ix}^* = [1; 0; -1; 0]$$

$$k_1 = /K5_{11} - K5_{31}/ \cdot \cos \omega_1 \tau_3 + /K5_{12} - K5_{32}/ \cdot \sin \omega_1 \tau_3 +$$

$$K6_{31} - K6_{11} + /K7_{11} - K7_{31}/ \cdot \cos \omega_1 \tau_3 + /K7_{12} - K7_{32}/ \cdot \sin \omega_1 \tau_3$$

$$k_2 = /K5_{32} - K5_{12}/ \cdot \cos \omega_1 \tau_3 + /K5_{11} - K5_{31}/ \cdot \sin \omega_1 \tau_3 +$$

$$+K6_{12} - K6_{32} + /K7_{32} - K7_{12}/ \cdot \cos \omega_1 \tau_3 + /K7_{11} - K7_{31}/ \cdot \sin \omega_1 \tau_3$$

/2.20/*

$$\underline{K5} = \underline{X}_{p3} - \underline{X}_3 \cdot \underline{K1} \cdot \underline{K2}$$

$$\underline{K6} = \underline{X}_3 \cdot / \underline{X}_{p3} + \underline{K1} \cdot \underline{K4} /$$

$$\underline{K7} = \underline{X}_3 \cdot \underline{K1} \cdot \underline{K2}$$

2F-OF üzemmódban az

$$\underline{x}_{o2} = \underline{Y}_2 + \underline{X}_2 \cdot \underline{x}_o$$

$$\underline{x}_1 = \underline{Y}_o + \underline{X}_o \cdot \underline{x}_{o2} \quad /2.21/$$

$$\underline{x}_1 = \underline{P} \cdot \underline{x}_o$$

kifejezésekből /itt \underline{x}_{o2} az állapotvektor értéke a $t=t_o+\tau_2$ időpontban/:

$$\underline{x}_o = \underline{M1} \cdot \{ \underline{M2} \cdot \underline{g} [\omega_1 / t_o + \tau_2 /] - \underline{M3} \cdot \underline{g} / \omega_1 t_o / \} \quad /2.22/*$$

$$\text{ahol} \quad \underline{M1} = / \underline{P} - \underline{X}_o \cdot \underline{X}_2 /^{-1}$$

$$\underline{M2} = \underline{X}_o \cdot \underline{X}_{p2}$$

$$\underline{M3} = \underline{X}_o \cdot \underline{X}_2 \cdot \underline{X}_{p2}$$

A t_o időpontra pedig az a feltétel, hogy a $t=t_o+\tau_2$ időpontban az áram y irányu összetevője alszik ki.

$$\underline{k}_{iy}^* \cdot [\underline{Y}_2 + \underline{X}_2 \cdot \underline{x}_o] = 0 \quad /2.23/$$

A rendezést elvégezve:

$$\omega_1 \cdot t_o = \arctg \frac{k_1}{k_2} \quad /2.24/*$$

ahol:

$$\underline{k}_{iy}^* = [0; 1; 0; -1]$$

$$k_1 = /M5_{21}-M5_{41}/ \cdot \cos \omega_1 \tau_2 + /M5_{22}-M5_{42}/ \cdot \sin \omega_1 \tau_2 + M6_{41}-M6_{21}$$

$$k_2 = /M5_{42}-M5_{22}/ \cdot \cos \omega_1 \tau_2 + /M5_{21}-M5_{41}/ \cdot \sin \omega_1 \tau_2 - M6_{42} + M6_{22}$$

/2.25/*

$$\underline{M5} = \underline{X}_{p2} + \underline{X}_2 \cdot \underline{M1} \cdot \underline{M2}$$

$$\underline{M6} = \underline{X}_2 \cdot \underline{X}_{p2} + \underline{X}_2 \cdot \underline{M1} \cdot \underline{M3}$$

3F-2F-0F üzemmódban:

$$\underline{x}_{o3} = \underline{Y}_3 + \underline{X}_3 \cdot \underline{x}_o$$

$$\underline{x}_{o2} = \underline{Y}_2 + \underline{X}_2 \cdot \underline{x}_{o3}$$

$$\underline{x}_1 = \underline{Y}_o + \underline{X}_o \cdot \underline{x}_{o2}$$

$$\underline{x}_1 = \underline{P} \cdot \underline{x}_o \quad /2.26/$$

Ahol \underline{x}_{o3} az állapotvektor értéke $t=t_o+\tau_3$ időpontban, \underline{x}_{o2} pedig a $t=t_o+\tau_3+\tau_2$ időpontban.

Az egyenleteket rendezve, a következő összefüggést kapjuk:

$$\underline{x}_o = / \underline{P} - \underline{X}_o \cdot \underline{X}_2 \cdot \underline{X}_3 /^{-1} \cdot \underline{X}_o \cdot \{ \underline{X}_{p2} \cdot g [\omega_1 / t_o + \tau_3 + \tau_2 /] +$$

$$+ \underline{X}_2 \cdot / \underline{X}_{p3} - \underline{X}_{p2} / \cdot g [\omega_1 / t_o + \tau_3 /] - \underline{X}_2 \cdot \underline{X}_3 \cdot \underline{X}_{p3} \cdot g / \omega_1 t_o /$$

/2.27/*

Mivel ebben az esetben az áram mindkét irányu komponense kiálszik, t_0 meghatározásához két feltételt is ki kell elégíteni, amit csak úgy lehet, hogy az egyik vezetési időt /például τ_2 -t/ is változónak tekintjük, és a két feltételből t_0 -t és τ_2 -t iterációval határozzuk meg.

A két feltétel:

$$\begin{aligned} \underline{k}_{ix}^* \cdot [\underline{\gamma}_3 + \underline{x}_3 \cdot \underline{x}_0] &= 0 \\ \text{és} \quad \underline{k}_{iy}^* \cdot [\underline{\gamma}_2 + \underline{x}_2 / \underline{\gamma}_3 + \underline{x}_3 \cdot \underline{x}_0] &= 0 \end{aligned} \quad /2.28/^{**}$$

Ezeket rendezve a következő alakú egyenleteket kapjuk:

$$\begin{aligned} \cos/t_0 + \tau_3 / \cdot [\cos \tau_2 / L_{11} - L_{13} / + \sin \tau_2 / L_{12} - L_{13} / + \\ + L_{21} - L_{23} /] + \sin/t_0 + \tau_3 / \cdot [\cos \tau_2 / L_{12} - L_{13} / + \\ + \sin \tau_2 / L_{13} - L_{11} / + L_{22} - L_{23} /] + \cos t_0 \cdot / L_{31} - L_{33} / + \\ + \sin t_0 / L_{32} - L_{33} / = 0. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cos/t_0 + \tau_3 / \cdot [\cos \tau_2 / L_{41} - L_{42} / + \sin \tau_2 / L_{42} - L_{42} / + \\ + L_{51} - L_{52} /] + \sin/t_0 + \tau_3 / \cdot [\cos \tau_2 / L_{42} - L_{42} / + \\ + \sin \tau_2 / L_{41} - L_{42} / + L_{52} - L_{52} /] + \cos t_0 \cdot / L_{61} - L_{62} / + \\ + \sin t_0 / L_{62} - L_{62} / = 0 \end{aligned} \quad /2.29/^{**}$$

ahol

$$\underline{L1} = \underline{x}_3 \cdot / \underline{p} - \underline{x}_0 \cdot \underline{x}_2 \cdot \underline{x}_3 /^{-1} \cdot \underline{x}_0 \cdot \underline{x}_{p2}$$

$$\underline{L2} = \underline{x}_{p3} + \underline{x}_3 \cdot / \underline{p} - \underline{x}_0 \cdot \underline{x}_2 \cdot \underline{x}_3 /^{-1} \cdot \underline{x}_0 \cdot \underline{x}_2 \cdot / \underline{x}_{p3} - \underline{x}_{p2} /$$

$$\underline{L3} = -\underline{x}_3 \cdot [\underline{x}_{p3} + / \underline{p} - \underline{x}_0 \cdot \underline{x}_2 \cdot \underline{x}_3 /^{-1} \cdot \underline{x}_0 \cdot \underline{x}_2 \cdot \underline{x}_3 \cdot \underline{x}_{p3}]$$

$$\underline{L4} = 2 \cdot \underline{x}_{p2} + \underline{x}_0^{-1} \cdot \underline{p} \cdot / \underline{p} - \underline{x}_0 \cdot \underline{x}_2 \cdot \underline{x}_3 /^{-1} \cdot \underline{x}_0 \cdot \underline{x}_2 \quad /2.30/^{**}$$

$$\underline{L5} = \underline{x}_0^{-1} \cdot \underline{P} \cdot / \underline{P} - \underline{x}_0 \cdot \underline{x}_2 \cdot \underline{x}_3 /^{-1} \cdot \underline{x}_0 \cdot \underline{x}_2 \cdot \\ \cdot / \underline{x}_{p3} - \underline{x}_{p2} /^{-2} \cdot \underline{x}_2 \cdot \underline{x}_{p2}$$

$$\underline{L6} = - \underline{x}_0^{-1} \cdot \underline{P} \cdot / \underline{P} - \underline{x}_0 \cdot \underline{x}_2 \cdot \underline{x}_3 /^{-1} \cdot \underline{x}_0 \cdot \underline{x}_2 \cdot \underline{x}_{p3}$$

A leírtak alapján tetszőleges munkapontban meghatározható a rendszer állandósult állapotát leíró \underline{x}_0 és t_0 . Ezek ismeretében \underline{x}_0 -tól és t_0 -tól egy taktusig modellezve a rendszert [1] alapján elvégezhető a fizikai jellemzők /feszültség, áram, nyomaték, fordulatszám/ harmonikus analízise.

3. A SZÁMITÓGÉPES PROGRAMCSOMAGOK ISMERTETÉSE

Ebben a fejezetben a hangsúly a programok használatának ismertetésén van és csak igen röviden teszünk említést a felépítésükről.

Mint a későbbiekben látható lesz, az 1.2 fejezetben leírt módszer a legjobban kidolgozott és ez a programcsomag adja a legtöbb eredményt. Ennek az az oka, hogy az elvégzett számításokból kiderült, hogy ezen módszer a pontos számítás eredményeit igen jó, általában 2-3 %-os pontossággal megközelíti, ami a tervezéshez tökéletesen elegendő. Ugyanakkor nagy előnye a pontos módszerrel szemben, hogy sokkal gyorsabb a számítás menete. Az irodalomból ismert - a motort passzív körrel helyettesítő - közelítés számítási gyorsasága körülbelül megegyezik a motort állandó R-L körrel és $U'/s/$ -el közelítő - helyettesítő módszerrel, viszont sokkal pontatlanabb eredményt ad. Ezt a programcsomagot ezért csak olyan szintig dolgoztuk ki, hogy a módszer pontosságának a vizsgálatához szükséges eredményeket megkapjuk.

3.1 Az általunk alkalmazott közelítés számítógépes programcsomagja TT és TD kapcsolásra

Ennek a programcsomagnak az elkészítésénél arra törekedtünk, hogy minél általánosabban lehessen használni. Így a programot sok variációban lehet futtatni:

- a/ Csak az R-L helyettesítő kört számítja /passzív terhelések tervezéséhez/. Ezen belül az egyes üzemmódok szét vannak választva és csak a számunkra szükséges tartományt számítjuk ki. Egy másik választási lehetőség, hogy egyszerre több, különböző φ fázisszöggel rendelkező R-L kör analízisére van szükségünk, vagy csak egyre /mint például aszinkron motorok számításánál/, ezen belül pedig lehetséges csak egy adott β vezetési szöghöz tartozó munkapont meghatározása is.
- b/ Ha szükséges, a statikus helyettesítő kapcsolás felhasználásával a tervező által megkívánt fordulatszámokon meghatározza az aszinkron gép munkaponti adatait és a félvezetők igénybevételeit.

A programcsomag folyamatábrája a 3.1 ábrán látható. /A változók jelentése az adatkártyák ismertetésénél található./

A program vázlata az adatok beolvasásához szükséges mélységig:

```
PROGRAM ANTIH
:
:
:
READ/IN, 101/ ITBST, ITBEND, IREL, MFØ, NS
101 FØRMAT/2014/
IF/MFØ.NE.O/ READ/IN,100/ RSN,XSN,RVN,XMN,RRN,XRN,RRK,
1XMT
IF/MFØ.NE.O/ READ/IN,100/ /S/I/ ,I=1,10/
READ/IN.100/ CALAF, UALAF, PØLP
100 FØRMAT/5E15.9/
:
:
:
```



```
DØ 31 ITB=ITBST, ITBEND
READ/IN,100/ TA2ST, TA2END
IF/MFØ.EQ.0/ READ/IN,100/ FIST, FIEND, ZAB
READ/IN,101/ NFI, NTA2, LHK, LKN
.
.
.
31 CØNTINUE
STØP
END
```

A változók jelentése:

ITBST = 1 ha a TT kapcsolást akarjuk számolni /esetleg TD-t is/
= 2 ha csak TD kapcsolást akarjuk számolni

ITBEND = 1 ha csak TT kapcsolást akarjuk számolni
= 2 ha a TD kapcsolást akarjuk számolni /esetleg TT-t is/

IREL = 0 ha az eredményt relatív egységekben akarjuk megkapni
≠ 0 ha az eredményt abszolút egységekben akarjuk megkapni

MFØ = 0 ha csak az R-L kört akarjuk számolni
≠ 0 ha aszinkron gépet akarunk számolni

NS = aszinkron gépnél a számítandó szlipek száma /maximum/
/maximum 10/ ha MFØ=0, NS értéke tetszőleges

RSN az aszinkron gép állórész ellenállása

XSN az aszinkron gép állórész szórási reaktanciája

RVN az aszinkron gép vasveszteségét reprezentáló ellenállás

XMN az aszinkron gép mágnesező áramának megfelelő reaktancia /telítetlen állapotban/

RRN az aszinkron gép forgórész ellenállása /a külső ellenállással együtt/

XRN az aszinkron gép forgórész szórási reaktanciája

RRK a forgórész áramkörébe beiktatott külső ellenállás

XMT az aszinkron gép mágnesező áramának megfelelő reaktancia /telített állapotban/

S/I/	a szlip
CALAF	az áramlap /effektív érték/
UALAF	a feszültségáramlap /effektív érték/
PØLP	a póluspárok száma
TA2ST	a számítandó τ_2 vezetési idők kezdő értéke
TA2END	a számítandó τ_2 vezetési idők utolsó értéke
FIST	az R-L kör számítandó fázisszögeinek kezdő értéke
FIEND	az R-L kör számítandó fázisszögeinek utolsó értéke
ZAB	az R-L kör impedanciájának az abszolút értéke
NFI	a számítandó φ = állandó görbék száma
NTA2	a számítandó τ_2 = állandó pontok száma egy φ = állandó görbén /maximum 13/
LHK	= 0 ha nem akarunk 3F-2F üzemmódot számolni $\neq 0$ ha akarunk 3F-2F üzemmódot számolni
LKN	= 0 ha nem akarunk 2F-0F üzemmódot számolni $\neq 0$ ha akarunk 2F-0F üzemmódot számolni

Néhány megjegyzés az adatokkal kapcsolatban:

- a/ Attól függetlenül, hogy az eredményeket abszolút vagy relatív értékben akarjuk megkapni, a gépparamétereket beadhatjuk abszolút vagy relatív értékekben, de az utóbbi esetben CALAF=UALAF=1 -et kell megadni.
- b/ Ha csak az R-L kört akarjuk számolni, azaz $MF\varnothing=0$, φ adott és $R=ZAB.\cos\varphi$, $X=ZAB.\sin\varphi$ értékekkel számol a program és ha abszolút értékekben akarjuk az eredményt, azt a CALAF és UALAF megfelelő értékével lehet beállítani. Ekkor POLP értéke tetszőleges.
- c/ $MF\varnothing=0$ esetben, ha $XRN\neq 0$ a program az 1.4 ábrán látható helyettesítő kapcsolásra redeukálja az adatokat, és ezeket ki is írja. A redukálás következtében a forgórész - áramokat - ha szükségesek - vissza kell számítani az eredeti kapcsolásra.

A b/ példa eredményeiből egyes részeket a 3.1 és 3.2 táblázatban mutatunk be. Az a/ példa eredményei a 3.1 táblázatnak megfelelő formában jelennek meg, csak a névleges adatok hiányoznak.

A tanulmányban használt jelölésektől eltérő jelölések értelmezése a következő:

$$RE/U_1 + jIM/U_1 = \bar{f}_1$$

$RE/I_1 + jIM/I_1$ az R-L kör alapharmonikus áramvektora

$$SUMU/U_{1EFF} = \frac{\sum_{v \neq 1} U_{eff}^2}{U_{1eff}^2}$$

$$SUMI/I_{1EFF} = \frac{\sum_{v \neq 1} I_{veff}^2}{I_{1eff}^2}$$

$$RE/UD + jIM/UD = \bar{U}'$$

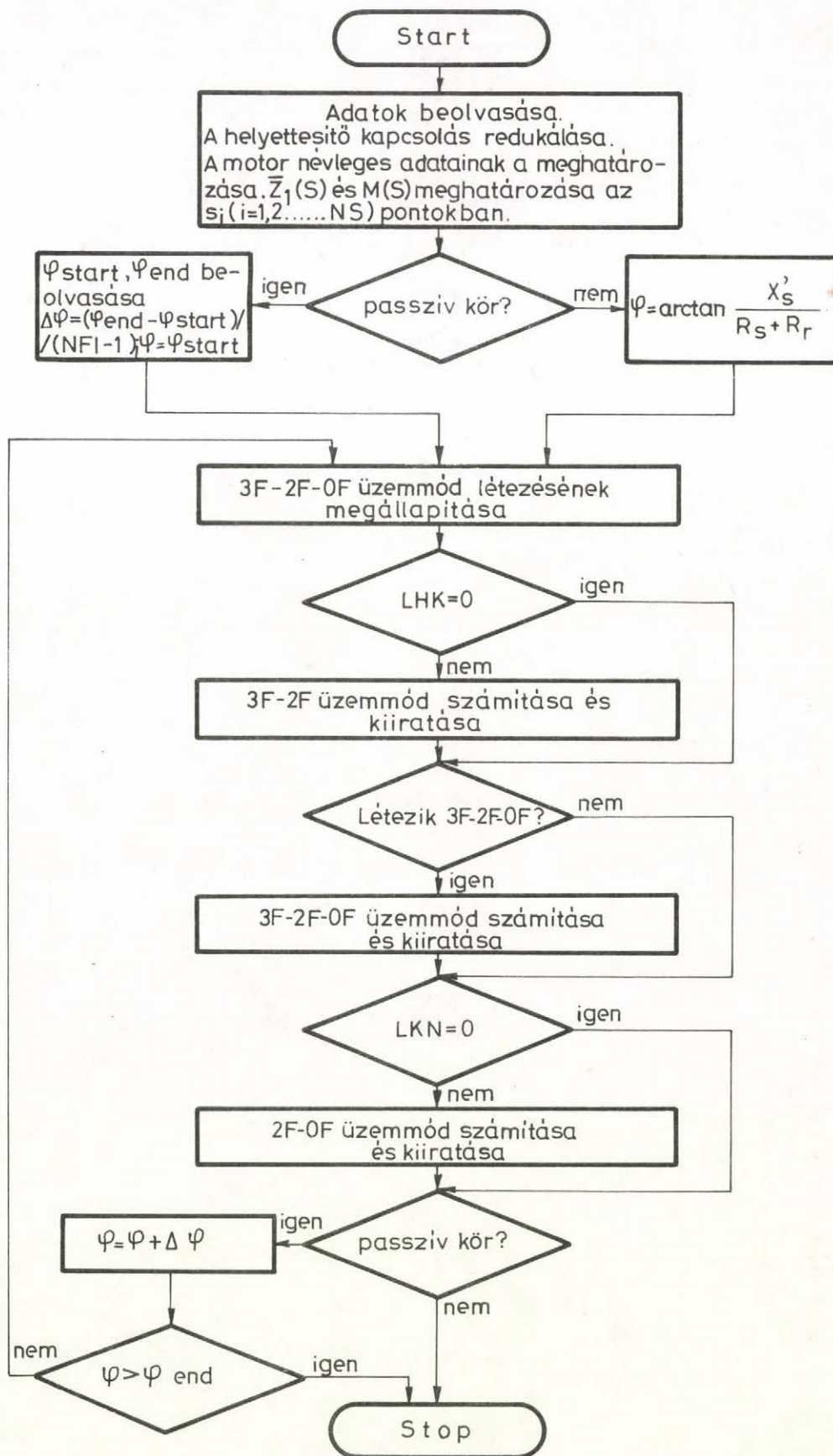
UFVMAX a félvezetők maximális feszültségigénybevétele

$$PNU = \sum_{v \neq 1} P_{cu v}$$

$$SUMP = P_{cu} + P_{Fe}$$

Az egyes jelölésekben az S betű az állórészre, az R pedig a forgórészre utal, az FV pedig, hogy ez a félvezető igénybevétele.

Ha az eredmények relatív egységben vannak megadva, a teljesítmények és az "M"-el jelölt nyomaték a gép névleges adataira vannak viszonyítva, a kiszámolt $\cos \varphi_n$ és γ_n segítségével. Ha abszolút értékben adottak, akkor a feszültségek V-ban, az áramok A-ban, a teljesítmények kW-ban /illetve kVA-ban/ a nyomaték pedig mkp-ban adott.



3.1. ábra.

RS=0.1350 RR=1.4500 XS=0.3250 XR=0.4800 XM=11.0000 RRK=1.2660 RVN=229.00 XMT= 7.4700
 S NEVL=0.0355 FI NEVL=39.3500 COS(FI NEVL)=0.7676 ETA NEVL=0.9274
 P NEVL= 24.3180 SUM P VESZT NEVL= 1.7643 IS EFF NEVL= 48.0000 IR EFF NEVL= 40.4979
 M NEVL= 22.7634 M NEVL/MA= 0.0000

A RELUKALT HELYETTESITO KAPCSOLAS ADATAI (RELATIV ERTEKEKBEN)

RS=0.0295 XS=0.1713 XM=2.2997 RR=0.2905 RRG=0.0369

TT KAPCSOLAS

FI=29.161 3-2 UZEMMOD

ALFA	TAU3	TAU2	BETA	RE(U1)	IM(U1)	ABS(U1)	ARC(U1)	RE(I1)	IM(I1)	T*
28.1611	50.0000	0.0000	190.0000	311.12698	0.00000	311.12698	0.00000	164.92549	-88.28802	0.0000
38.9736	50.0000	10.0000	170.0000	294.88505	-23.90855	295.85268	-4.63526	149.53130	-96.35277	0.0000
50.4363	40.0000	20.0000	160.0000	267.33220	-50.16451	271.99813	-10.62783	127.47518	-102.45218	0.0000
62.9045	30.0000	30.0000	150.0000	225.82750	-73.89467	237.60993	-18.11899	99.74005	-103.25359	0.0000
76.8456	20.0000	40.0000	140.0000	169.65040	-87.44022	190.32559	-27.34997	64.79925	-94.32241	0.0000
92.7295	10.0000	50.0000	130.0000	100.38164	-79.81981	128.24849	-38.49044	30.56102	-70.79687	0.0000
110.6547	0.0000	60.0000	120.0000	33.69820	-41.22701	53.24692	-50.73907	6.16417	-31.41654	0.0000

ALFA	UEFF	UEFF/U1EFF	SUMU/U1EFF	IKOZ/I1KOZ	IEFF/I1IEFF	SUMI/I1IEFF
28.1611	0.220000E+03	0.100000E+01	0.532077E-10	0.100000E+01	0.100000E+01	0.000000E+00
38.9736	0.214181E+03	0.102381E+01	0.481835E-01	0.985444E+00	0.100135E+01	0.269455E-02
50.4363	0.203929E+03	0.106030E+01	0.124235E+00	0.972517E+00	0.100564E+01	0.113032E-01
62.9045	0.187431E+03	0.111556E+01	0.244473E+00	0.961715E+00	0.101315E+01	0.264830E-01
76.8456	0.162167E+03	0.120499E+01	0.451976E+00	0.952902E+00	0.102466E+01	0.499369E-01
92.7295	0.124963E+03	0.137798E+01	0.838836E+00	0.945134E+00	0.104430E+01	0.905632E-01
110.6547	0.724031E+02	0.192299E+01	0.269790E+01	0.932041E+00	0.112963E+01	0.276067E+00

ALFA	RE	XE	ZE	ARC(ZE)
28.1611	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.634349E+02
38.9736	0.395097E-02	0.162436E+00	0.162484E+00	0.886067E+02
50.4363	0.165736E-01	0.406844E+00	0.407181E+00	0.876672E+02
62.9045	0.388315E-01	0.788982E+00	0.788937E+00	0.871823E+02
76.8456	0.732215E-01	0.145598E+01	0.145782E+01	0.871210E+02
92.7295	0.132791E+00	0.291944E+01	0.292246E+01	0.873957E+02
110.6547	0.404792E+00	0.875124E+01	0.876059E+01	0.873517E+02

3.1. Táblázat

ALFA= 76.8426

SLIP	RE(US1)	I4(US1)	RE(UT1)	IM(UT1)	RF(UD)	IM(UD)	RE(US1)	IM(US1)
0.20	263.42433	-40.82015	47.70260	40.82015	195.46142	-18.20447	29.50891	-31.27411
0.50	223.76420	-74.50499	87.36278	74.50499	90.54403	-32.93753	54.05241	-57.23428
1.00	172.22446	-79.13899	138.90252	79.13899	14.08402	11.59079	58.35193	-92.46663
1.50	147.14409	-67.32399	163.94289	67.32399	-15.13550	53.35351	51.77671	-110.02302
2.00	134.59145	-57.39467	176.53554	57.39467	-25.36076	31.40349	45.40262	-118.96499

SLIP	ABS(US1)	ARC(US1)	ABS(UT1)	ARC(UT1)	ABS(UD)	ARC(UD)	ABS(US1)	ARC(US1)
0.20	266.56936	-9.30448	62.78394	40.55432	196.30733	-5.32094	43.06639	-46.56669
0.50	235.84192	-18.41580	114.81333	40.45831	104.85173	-18.30856	78.76009	-46.56271
1.00	189.14223	-24.41780	159.39709	39.37540	18.24039	39.45110	109.33906	-57.74362
1.50	161.91691	-24.58782	177.26736	22.32264	55.45582	-74.16225	121.59726	-64.79838
2.00	146.31917	-23.09516	185.63121	18.01022	85.26251	-72.69590	127.33447	-69.11090

SLIP	ALFA*	M/MA	USEFF	US1EFF	UFVMAX
0.20	67.90127	12.83707	191.54311	183.49230	171.02551
0.50	67.39728	22.66941	178.01215	166.76542	312.76890
1.00	79.09019	22.97390	159.24991	133.74375	434.20293
1.50	96.13295	19.02616	149.44927	114.42193	482.99212
2.00	90.44537	15.69627	144.36062	103.46257	505.66551

SLIP	ISIEFF	ISIEFF	IFVEFF	IFVKOZ	IREFF	PMOTV	PNU	PCU1
0.20	31.20399	30.45289	22.08455	13.06297	26.63223	0.1219258E+01	0.2037122E+00	0.3023367E+01
0.50	57.06539	55.69179	40.35133	23.88936	55.41127	0.3239236E+01	0.6813063E+00	0.1290029E+02
1.00	79.22130	77.31439	56.01792	33.16452	79.62665	0.5909261E+01	0.1313048E+01	0.2591927E+02
1.50	88.10293	95.98224	62.29818	36.88265	87.80705	0.7222661E+01	0.1623969E+01	0.3231252E+02
2.00	92.25992	90.03907	65.23754	38.62285	92.09511	0.7985079E+01	0.1790828E+01	0.3553293E+02

SLIP	PCU	PCUNU/PCU	PFE	SUMP	P FEL	PME	Q FEL
0.20	0.3227090E+01	0.6312587E-01	0.4654499E+00	0.3692530E+01	0.1301920E+02	0.1059112E+02	0.1459533E+02
0.50	0.1753159E+02	0.5016394E-01	0.7643324E+00	0.1394593E+02	0.2522575E+02	0.1164415E+02	0.2673403E+02
1.00	0.2723231E+02	0.4821655E-01	0.2343326E+00	0.2746665E+02	0.2723231E+02	0.0000000E+00	0.4315329E+02
1.50	0.3597649E+02	0.4795316E-01	0.1715156E+00	0.3410801E+02	0.2416370E+02	-0.9772793E+01	0.5134670E+02
2.00	0.3731376E+02	0.4772576E-01	0.1402337E+00	0.3745400E+02	0.2119897E+02	-0.1612479E+02	0.55551983E+02

3.2. Táblázat

3.2 Az általunk alkalmazott közelítés számítógépes programja TTO kapcsolás esetén

Ez a programcsomag célját és felépítését tekintve megegyezik az előző programcsomaggal, de egyszerűbb, mert ebben az esetben csak egy kapcsolás és egy üzemmód létezik, így nem szükséges logikai döntések beépítése ezek vizsgálatára. Ezért a programcsomag folyamatábrájából is hiányoznak azok a részek, ahol a kapcsolás vagy üzemmód kiválasztását szolgáló logikai döntések vannak.

A program vázlata az adatok beolvasásához szükséges mélységig:

```
PROGRAM TTO
:
:
READ/IN.101/ IREL, MFØ,NS,NFI,NTA1
101 FORMAT/20I4/
IF/MFØ.NE.0/ READ/IN,100/ RSN,XSN,RVN,RRN,XRN,RRK,XMT
IF/MFØ.NE.0/ READ/IN,100/ /S/I/, I=1.10/
READ/IN,100/ CALAF,UALAF,PØLP
READ/IN,100/ TA1ST,TA1END
IF/MFØ.EQ.0/ READ/IN,100/ FIST,FIEND
100 FØRMAT (5 E15.9)
:
:
STØP
END
```

A változók jelentése is megegyezik az előző jelentésekkel, csak itt TA1ST és TA1END a számítandó τ_1 vezetési idők kezdő, illetve utolsó értéke, NTA1 pedig a számítandó τ_1 vezetési idők száma /NTA1 maximális értéke 18/. Az adatokkal kapcsolatos megjegyzések az f/ és g/ kivételével szintén helytállóak.

A példák legyenek az előzőek, ekkor az adatkártyák a következőképpen néznek ki:

3.3 A külföldi irodalomban leginkább elterjedt közelítés számítógépes programcsomagja TT és TD kapcsolásokra

Ennek a módszernek a számítására csak azért van szükség, hogy a közelítés pontosságát eldöntsük. Már a programcsomagok kidolgozása közben kiderült, hogy az általunk használt közelítés - 1.1 és 1.2 fejezetben leírt - /állandó R-L passzív kör beiktatott változó \bar{U} alapharmonikus feszültségekkel/ sokkal jobb eredményt ad. Ezért ezt a programcsomagot csak TT és TD kapcsolásra készítettük el, és ezen belül is szegényesebb a 3.1-ben ismertetett programcsomagnál. Az eltérések a következők:

- a/ Csak a fontosabb fizikai mennyiségeket számolja ki;
- b/ Nem használható az R-L kör mennyiségeinek a számítására /a bemenetek kiképzése miatt/;
- c/ A gépparaméterek csak relatív egységekben adhatók meg, és az eredmény is csak relatív egységekben áll rendelkezésünkre;
- d/ Nem határozza meg az aszinkron gép névleges áramához tartozó egyéb névleges adatokat /pl. teljesítményeket stb./

Igy a folyamatábrából is hiányoznak az ezeknek megfelelő részek.

A program vázlatja az adatok beolvasásához szükséges mélységig:

```
PRØGRAM SUKØZ
:
READ/IN,101/ ITBST, ITBEND, NS
101 FØRMAT/20I4/
READ/IN,100/ RS,XS,XM,RR,XR
READ/IN,100/ /S/I/,I=1,10/
100 FØRMAT/5E15.8/
:
DØ 9 ITB=ITBST, ITBEND
READ/IN,100/ TA2ST,TA2END
READ/IN,101/ NTA2,LHK,LKN
```

```

      9 CONTINUE
      STOP
      END

```

A változók jelentése

RS az aszinkron gép állórész ellenállása relatív egységekben

XS az aszinkron gép állórész szórási reaktanciája relatív
egységekben

XM az aszinkron gép mágnesező áramának megfelelő reaktancia
relatív egységekben

RR az aszinkron gép forgórész ellenállása relatív egységekben

XR az aszinkron gép forgórész szórási reaktanciája relatív
egységekben

A többi változó jelentése ugyanaz, mint a 3.1 fejezetben.

Példa:

Megegyezik a 3.1 fejezetben ismertetett példával. Ekkor az adatkártyák a következők lesznek:

[illegible]

Az eredmények jelölése itt is megegyezik a 3.1 fejezetben ismertetett jelölésekkel és egy része a 3.3 táblázatban látható.

RS=0.0295 RR=0.3160 XS=0.0709 XR=0.1050 XM= 2.4000

TT KAPCSOLAS

3-2 U7FMM00

SLIP= 0.200 R ER= 1.06/05 X ER= 0.82582 F1 ER=37.7373

ALFA	TAU1	TAU2	BETA	RF(U1)	IM(U1)	ABS(U1)	ARC(U1)	RE(I1)	IM(I1)	T*
37.7373	60.0000	0.0000	180.0000	1.000000	0.000000	1.000000	0.000000	0.596105	-0.453604	0.0000
48.7177	50.0000	10.0000	170.0000	0.920377	-0.042923	0.924096	-5.14239	0.501866	-0.466032	0.0000
60.2023	40.0000	20.0000	160.0000	0.803841	-0.160617	0.819731	-11.29959	0.399279	-0.459764	0.0000
72.3296	30.0000	30.0000	150.0000	0.650396	-0.216961	0.685629	-18.44784	0.292796	-0.422184	0.0000
85.2210	20.0000	40.0000	140.0000	0.467582	-0.233577	0.522677	-26.54405	0.168101	-0.348995	0.0000
98.9229	10.0000	50.0000	130.0000	0.273675	-0.194657	0.335841	-35.42317	0.072105	-0.238229	0.0000
113.3227	0.0000	60.0000	120.0000	0.097685	-0.095508	0.136617	-44.35459	0.013931	-0.100288	0.0000

ALFA	M	UEFF	UEFF/U1EFF	SUMU/U1EFF	IKOZ/I1KOZ	IKOZ
37.7373	0.569901	1.000000	0.100000E+01	0.582077E-10	0.100000E+01	0.333626
48.7177	0.526644	0.959363	0.103816E+01	0.777831E-01	0.995229E+00	0.303749
60.2023	0.467166	0.896572	0.109374E+01	0.196266E+00	0.972374E+00	0.265928
72.3296	0.390741	0.806471	0.117625E+01	0.383565E+00	0.961638E+00	0.219969
85.2210	0.297874	0.683000	0.130826E+01	0.711556E+00	0.952319E+00	0.166151
98.9229	0.191396	0.523139	0.155770E+01	0.142643E+01	0.945002E+00	0.105883
113.3227	0.077858	0.312545	0.229775E+01	0.423382E+01	0.932055E+00	0.042482

ALFA	RE	XE	IEFF/I1EFF	SUMI/I1EFF	IEFF	I1EFF	I1EFF	I1EFF
37.7373	0.000000E+10	0.000000E+00	0.173205E+01	0.200000E+01	1.283677	0.741131	1.221270	
48.7177	0.289920E-02	0.167732E+00	0.101087E+01	0.218533E-01	0.692319	0.684876	0.588056	
60.2023	0.120306E-01	0.417137E+00	0.101806E+01	0.364543E-01	0.618502	0.607528	0.526783	
72.3296	0.281381E-01	0.809237E+00	0.102173E+01	0.439416E-01	0.519185	0.508141	0.442793	
85.2210	0.531934E-01	0.149994E+01	0.102216E+01	0.448157E-01	0.395957	0.387372	0.337750	
98.9229	0.968255E-01	0.301954E+01	0.102006E+01	0.405271E-01	0.253196	0.248902	0.216405	
113.3227	0.291792E+10	0.895671E+01	0.102038E+01	0.411732E-01	0.103314	0.101251	0.088069	

3.3. Táblázat

3.4 A négy energiatárolós modell programcsomagja

Ez a programcsomag két részre van osztva, mert az állandósult állapot meghatározása más feladatokhoz is szükséges /például a rendszer dinamikus viselkedésének tanulmányozásához/. Ezért azon a ponton, ahol a program meghatározza x_0 és t_0 értékét, véget ér az első program és a második program végzi a harmonikus analízist. Ezek futtathatók egymástól függetlenül is, de ha szükséges, megfelelő vezérkártyák segítségével a második program automatikusan indul az első után. Az első programban itt is többféle lehetőség van a fordulatszámok és a vezetési idők variálására. Ezenkívül az első program beolvassa azokat az adatokat is, amelyekre az analízishez szükség van, mert így lehet biztosítani a második program automatikus futtatását. Ekkor az első program egy megfelelő tárolóhelyre, a szükséges sorrendben kiírja az összes adatot, amelyre a második programnak szüksége van. A programok a differenciálegyenletrendszert numerikus integrálással oldják meg, amelyhez a negyedfoku Runge-Kutta módszer jól alkalmazható. A számítás menete - a programozási fogásoktól eltekintve - teljesen soros jellegű, ezért folyamatábrát nem érdemes készíteni.

Az első program folyamatábrája hasonló a 3.1 ábrán látható folyamatábrához, csak itt nem kell vizsgálni, hogy R-L kört vagy aszinkron gépet kell számolni.

Ez a program kiszámítja az adott szinkron gép állandósult munkapontjához tartozó átviteli mátrixot is, amely a rendszer dinamikus vizsgálatához szükséges.

Az első program vázlata az adatok beolvasásához szükséges mélységig:

PROGRAM ZMAT

:

READ/IN,100/RS,XS,XM,RR,XR

READ/IN,101/ NP, NRUX,NWP,KEND,L320,INORM,L32

READ/IN,101/ NN,IP

```
100 FØRMAT/5E15.8/  
101 FØRMAT/20I4/  
:  
DØ 50 I=1, KEND  
READ/IN,100/ W  
IF/NWP.EQ.1/ READ/IN,100/TA1  
IF/NWP.EQ.1/ READ/IN,101/ NRU1,LHK  
:  
50 CØNTINUE  
STØP  
END
```

A változók jelentése:

RS, XS, XM, RR és XR jelentése ugyanaz, mint a 3.3 fejezetben

NP egy periódus alatti taktusok száma /TD kapcsolásnál 3, TT kapcsolásnál pedig 6/

NRUX a Runge-Kutta lépések száma

NWP az egy fordulaton számítandó munkapontok száma

KEND a számítandó fordulatok száma

L320 0 ha nem kell 3F-2F-OF üzemmódot számolni
1 ha kell 3F-2F-OF üzemmódot számolni

INORM 2 ekkor a program meghatározza az átviteli mátrix sajátértékeit és sajátvektorait

1 ekkor a program csak az átviteli mátrix sajátértékeit határozza meg

0 a program nem számít sem sajátértéket, sem sajátvektort

L32 1 ha csak 3F-2F üzemmódot kell számolni
0 ha a 2F-OF üzemmódot is ki kell számolni

NN az analízishez szükséges adat
5 ekkor csak a nyomaték középértékét határozza meg a második program

- 22 az összes beépített analízálást elvégzi
- IP az analízishez szükséges adat
- 1 ekkor a második program minden egyes Runge-Kutta lépés után kiírja az állapotváltozót /időfüggvény/
0 nincs kiíratás
- W az aszinkron gép fordulatszám

A következő változóknak csak akkor van értelmük, ha $NWP=1$, azaz egy munkapontot akarunk csak kiszámolni.

- TA1 3F-2F üzemmódban a τ_3 időtartam
2F-OF üzemmódban a τ_2 időtartam
- NRU1 a TA1 időtartamhoz tartozó Runge-Kutta lépések száma
- LHK 1 az adott munkapont 3F-2F üzemmódban van
0 az adott munkapont 2F-OF üzemmódban van

Az adatokkal kapcsolatos néhány megjegyzés:

- a/ Ha $NWP \neq 1$ a program kiszámol egy $\Delta\tau = \tau / (NWP-1)$ lépésközt, és $\Delta\tau$ -val lépkedve meghatározza a $\tau_3 = \tau, \tau - \Delta\tau, \tau - 2 \cdot \Delta\tau, \dots$,
0 3F vezetési időhöz tartozó munkapontokat.
- b/ A Runge-Kutta lépések számát a következőképpen lehet meghatározni: tapasztalatok, és előzetes hibabecslések alapján, ha a $\tau = 120^\circ$ időtartamot körülbelül 50 lépésben teszi meg a program, a hiba kisebb, mint 10^{-8} , így a numerikus integrálás hibája az egyéb hibák mellett elhanyagolható/például a $W =$ állandó feltételezés 10^{-4} nagyságrendű hibát okoz/. Az NRUX lépésszáma a $\Delta\tau$ időtartamra vonatkozik, így ha $\Delta\tau/120^\circ$ arányban csökkentjük, az 50-es lépésszámot, a hiba nem növekszik. Ugyanez vonatkozik az NRU1 lépésszáma. Például ha $\Delta\tau$ /vagy $TAU1/=10^\circ$ az NRUX /illetve NRU1/=5 lépésszám választása megfelelő.

Legyen a példa megint csak a 3.1 fejezetben leírt, ekkor az adatkártyák a következők lesznek:

0.0295	0.0708	2.4	0.316	0.105
6	5	7	5	0
0	0	1		
22	0			
0.8				
0.5				
0.0				
-0.5				
-1.0				

Az eredmények egy része a 3.4 táblázatban látható.

A még ismeretlen jelölések értelmezése:

$$TF = t_o + \tau + \frac{\pi}{\omega}$$

$$XSTART = \underline{x}_o$$

ZMAT a rendszer átviteli mátrixa szinkron forgó koordináta rendszerben

Az átviteli mátrixot \underline{Z} -vel jelölve, a következő alakban írható fel:

$$\underline{Z} = \underline{T} \cdot \underline{\Lambda} \cdot \underline{T}^{-1}$$

$$\text{és TI MATRIX} = \underline{T}^{-1}$$

ahol \underline{T} az oszlopsajátvektorokból alkotott mátrix $\underline{\Lambda}$ pedig a sajátértékekből adott diagonálmátrix.

RS=0.0295 XS=0.0708 XM= 2.4000 RR=0.3160 XR=0.1050

REDUKALT ERTEKEK

RS=0.0295 XS=0.1714 XM= 2.2394 RR=0.2901

NP=6 NRU=10 NWP= 7 KEN= 2 L320=0 INORM=0 L32=1

TAU3= 60.00 W= 0.800 TF= 37.737343
XSTART -0.91452515 0.35391882 -0.80451480 0.42343333

Z MATRIX

0.53317740E+00	0.48881071E+00	0.18459934E+00	0.56297943E-01
-0.78387551E+00	0.47222468E+00	-0.49712846E-01	0.54225010E-01
0.53317740E+00	0.48881071E+00	0.18459934E+00	0.56297943E-01
-0.48881071E+00	0.53317740E+00	-0.56297943E-01	0.18459934E+00

TAU3= 50.00 W= 0.800 TF= 45.011849
XSTART -0.93979371 0.26492224 -0.83056430 0.32798587

Z MATRIX

0.54497571E+00	0.40081153E+00	0.22863012E+00	0.63243135E-01
-0.78386992E+00	0.47216697E+00	-0.49682309E-01	0.54231292E-01
0.54497571E+00	0.40081153E+00	0.22863012E+00	0.63243135E-01
-0.48881912E+00	0.52755703E+00	-0.53381425E-01	0.18514998E+00

TAU3= 40.00 W= 0.800 TF= 52.042207
XSTART -0.94322342 0.19043345 -0.83701174 0.24175479

Z MATRIX

0.54203663E+00	0.30371069E+00	0.28455453E+00	0.83467711E-01
-0.78388964E+00	0.47177597E+00	-0.49438084E-01	0.54324631E-01
0.54203663E+00	0.30371069E+00	0.28455453E+00	0.83467711E-01
-0.48882293E+00	0.51195459E+00	-0.43727220E-01	0.18873163E+00

3.4. Táblázat

A második program vázlata az adatok beolvasásához szükséges mélységig:

```
PROGRAM ANAL
:
READ/IN,101/ NN, KEND,NB,IP
READ/IN,100/RS, XS, XM,RR, XR
READ/IN,101/ NP, NRU
100 FORMAT/5E15.8/
101 FORMAT/20I4/
:
DO 10 IK=1, KEND
DO 9 IJ=1, NB
READ/IN,100/ /XST/I/,I = 1,4/
READ/IN,100/ W,TF,TAl
:
9 CONTINUE
10 CONTINUE
STOP
END
```

A változók jelentése:

Az NN,KEND,IP,RS,XS,XM,RR,XR,NP,W,TF és TAl változók jelentése ugyanaz, mint az előzőekben.

NB a munkapontok száma egy fordulaton /a 3F-2F, 3F-2F-OF és 2F-OF üzemmódok munkapontjainak együttes száma/

NRU a Runge-Kutta lépések száma egy teljes taktusra /TT kapcsolásnál NRU=24, TD kapcsolásnál pedig NRU=48/

XST/1-4/ az \underline{x}_0 vektor négy koordinátája

RS=0.0295 XS=0.0703 XM= 2.4000 RZ=0.3160 XR=0.1050

REDUKALT ERTEKEK

RS=0.0295 XS=0.1714 XM= 2.2994 RP=0.2901

NP=6 NR0=24

W= 0.800	TF= 37.737343	XSTART -0.91453	0.35992	-0.80451	0.42343
DEV 0.17347E-06	-0.63344E-07	0.18591E-06	0.34255E-07		
W= 0.900	TF= 45.011949	XSTART -0.93979	0.26492	-0.83056	0.32799
DEV 0.12079E-06	0.39792E-07	0.16519E-06	0.66124E-07		
W= 0.800	TF= 52.042207	XSTART -0.94322	0.19043	-0.83701	0.24175
DEV 0.10744E-06	1.72203E-07	0.14367E-06	0.91317E-07		
W= 0.900	TF= 59.323296	XSTART -0.92296	0.10554	-0.82312	0.16319
DEV 0.10479E-06	0.95529E-07	0.13050E-06	0.10352E-06		
W= 0.800	TF= 67.718783	XSTART -0.86312	0.04009	-0.79065	0.09059
DEV 0.94180E-07	0.95294E-07	0.11681E-06	0.11049E-06		
W= 0.900	TF= 79.122044	XSTART -0.74243	-0.01129	-0.69055	0.02445
DEV 0.72177E-07	0.94035E-07	0.10712E-06	0.16302E-06		
W= 0.800	TF= 93.998010	XSTART -0.41642	-0.02262	-0.41642	-0.02262
DEV 0.86315E-07	0.70066E-07	0.86315E-07	0.70066E-07		

TAU3(TAU2)	TF	M/4A	CS1	CS1EFF	CSFF	CR1	CR1EFF	CREFF
60.000	37.7373	0.56990	0.59611 -0.45360	0.74113 0.74113	-0.62397	0.06004	0.62686	0.62696
50.000	45.0119	0.55123	0.56737 -0.45760	0.72990 0.72999	-0.61237	0.07135	0.61651	0.61768
40.000	52.0422	0.52331	0.54004 -0.46135	0.71027 0.71423	-0.59452	0.08637	0.60776	0.60549
30.000	59.3233	0.48217	0.49989 -0.46386	0.69195 0.69092	-0.56692	0.10623	0.57680	0.58737
20.000	67.7188	0.41363	0.43713 -0.46164	0.63577 0.65141	-0.52103	0.13301	0.53774	0.55614
10.000	79.1220	0.31069	0.32946 -0.43903	0.54930 0.57250	-0.43308	0.16597	0.46376	0.49212
-0.000	93.9990	0.11691	0.13047 -0.31108	0.33733 0.38091	-0.23371	0.16367	0.28532	0.33559

TAU3(TAU2)	US1	US1EFF	US6	US12	US-6	US-12
60.000	1.00000	0.00000	1.00000	0.00000	-0.00000	-0.00000
50.000	0.99330	-0.01974	0.99350	-0.02392	0.00490	-0.00599
40.000	0.95725	-0.04631	0.95836	-0.04263	0.02414	0.00794
30.000	0.91648	-0.08215	0.92015	-0.04049	0.04959	0.00096
20.000	0.84768	-0.13160	0.85783	-0.00776	0.05972	-0.04221
10.000	0.71305	-0.19721	0.73982	0.02407	0.00936	-0.00092
-0.000	0.39612	-0.22419	0.45516	-0.06685	0.03223	-0.00994

TAU3(TAU2)	PCU/PA	PCUNU/PCU	P FEL/PA	PMF/PA	Q FEL/PA
60.000	0.4493661+309	-0.4493661+309	0.1112378-307	0.4559212E+00	0.3986475+308
50.000	0.4493678+308	-0.4493680+308	0.1112383-307	0.4409839E+00	0.3986457+308
40.000	0.2246584+309	-0.2246592+309	0.1112390-307	0.4186483E+00	0.3986441+308
30.000	0.2246615+308	-0.2246633+308	0.8986272+308	0.3857376E+00	0.3986430+308
20.000	0.2246669+309	-0.2246696+309	0.8936547+308	0.3349005E+00	0.3986440+308
10.000	0.2246766+308	-0.2246804+308	0.8937024+308	0.2485483E+00	0.3986539+308
-0.000	0.1123396+309	-0.5616607+307	0.4493660+308	0.9352921E-01	0.3987100+308

3.5. Táblázat

ÖSSZEFOGLALÓ

A különféle feszültségszabályozott aszinkronmotoros hajtásokra vonatkozó elméleti vizsgálatainkból, amelyek alapjait és lényegesebb részeit a jelen tanulmányban foglaltuk össze, a következő általános érvényű megállapítások vonhatók le:

1. Az általunk kidolgozott közelítő eljárás a hajtások méretezéséhez teljesen megfelelő. A közelítés pontossága 5 %-on belül van a statikus viszonyok elemzése az áramirányító és a motor méretezése, illetve terhelhetősége szempontjából.
2. A pontos módszernek a statikus viselkedés, illetve a méretezés szempontjából csak ellenőrzési szerepe van.
3. A külföldi irodalomban leginkább elterjedt közelítő módszer a mi módszerünkénél több vonatkozásban lényegesen pontatlanabb. Így annak használata hajtások tervezésekor néhány vonatkozásban nem ad korrekt eredményt.

Az általunk használt közelítő eljárás alapján került kidolgozásra az ADHS típusu daruhajtás sorozat és az egy- és háromfázisu aszinkronmotoros szellőző-hajtás.

Az egyfázisu szellőző-hajtás gyártása már sorozatban folyik, míg az ADHS típusu daruhajtás és a háromfázisu szellőző-hajtás gyári prototípusai 1974-ben kerültek véglegesítésre és sorozatgyártásuk várhatóan 1975-ben indul meg.

FÜGGELÉK

1. Az ANTIH programcsomag futtatásához szükséges vezérkártyák:

```
$JOB, ACCNUM, ANTIH, T, L
$SCHED, CLASS=C, CØRE=49, SCR=6, 854=1
$*DEF(Ø, , ØDS, 11E111, CØFIL, 01, VA, I)
$CØSY
ANTIØ DECK/      I=ØDS, H
      ENDCØSY
$FTNU(I=SHØ, X)
$X, LGØ
```

Adatkártyák

77

88

A \$JOB kártya paraméterei:

ACCNUM: számlázási azonosító

T: a futási idő korlátja /percekben/

L: a kinyomtatandó sorok korlátja

A \$*DEF kártyához a kísérlapon a 888-as diszket kell kérni.

2. A TTO programcsomag futtatásához szükséges vezérkártyák:

```
$JOB, ACCNUM, TTO, T, L
$SCHED, CLASS=C, CØRE=45, SCR=5, 854=1
$*DEF(Ø, , ØDS, 11E111, CØFIL, 01, VA, I)
$CØSY
TTO    DECK/      I=ØDS, H
      ENDCØSY/
$FTNU(I=SHØ, X)
$X, LGØ
```

Adatkártyák

77

88

3. A SUKØZ programcsomag futtatásához szükséges adatkártyák:

```
$JOB, ACCNUM, SUKØZ, T, L
$SCHED, CLASS=C, CØRE=39, SCR=4, 854=1
$*DEF(Ø, , ØDS, 11E111, CØFIL, 01, VA, I)
$CØSY
SUKØZ    DECK/      I=ØDS, H
          ENDCØSY/
$FTNU(I=SHØ, X)
$X, LGØ
Adatkártyák
77
88
```

4. A ZMAT programcsomag futtatásához szükséges adatkártyák:

a/ Ha a ZMAT programcsomag után automatikusan kívánjuk indítani az ANAL programcsomagot:

```
$JOB, ACCNUM, ZMAT, T, L
$SCHED, CLASS=C, CØRE=57, SCR=9, 854=1
$*DEF(Ø, , ØDS, 11E111, CØFIL, 01, VA, I)
$CØSY
ZMATR    DECK/      I=ØDS, H
          ENDCØSY/
$FTNU(I=SHØ, X)
$SØCR(A, 66, 256, 50)
$*DEF(Ø, , ALIB, 11E111, BILIB, 01, VA, I)
$*DEF(Ø, , ADIR, 11E111, BIDIR, 01, VA, I)
$X, LGØ
$AUX, ALIB, ADIR
Adatkártyák
$REWIND(SHØ)
$FTNU(I=SHØ, X)
$REWIND(66)
$X, LGØ
$AUX, ALIB, ADIR
77
88
```


b/ Ha csak a ZMAT programcsomagot kívánjuk futtatni, az a/ pontban leírt sorrend annyiban módosul, hogy az adatkártyák után

közvetlenül a ⁷⁷₈₈-as "end of job" kártya kerül, és a többi vezérekártyát kihagyjuk.

c/ Ha csak az ANAL programcsomagot kívánjuk futtatni:

```
$JOB, ACCNUM, ANAL, T, L
$SCHED, CLASS=C, CORE=49, SCR=6, 854=1
$*DEF(, , DS, 11E111, CFIL, 01, VA, I)
$CDSY
ANAL      DECK/          I=DS, H
          ENDCDSY/
$FTNU(I=SH, X)
$*DEF(, , ALIB, 11E111, BILIB, 01, VA, I)
$*DEF(, , ADIR, 11E111, BDIR, 01, VA, I)
$X, LG
$AUX, ALIB, ADIR
```

Adatkártyák

77

88

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Rác I.: Automatizált villamos hajtások
Egyetemi jegyzet, 1969.
- [2] I. Rác.: Theorie des Betriebs von Asynchronmotoren mit
antiparallelen Thyristoren XIII.Intern.Wiss.
Koll. TH Ilmenau, 1968.
- [3] Hunyár M.: Antiparalel tirisztorokkal vezérelt aszink-
ron motor
I. Erősáramu Elektronika Konferencia,
Budapest, 1970.
- [4] Hunyár M.: TT-0 kapcsolású váltakozóáramú szaggatóról táp-
lált háromfázisú aszinkron motor vizsgálata
állandósult állapotban.
II. Erősáramu Elektronika Konferencia,
Budapest, 1973.
- [5] F.Korb.: Einstellung der Drehzahl von Induktionsmotoren
durch antiparallele Ventile auf der Netzseite
ETZ-A.Bd.86./1965/H.8.
- [6] V.A.Subenko, I.J.Braslavski: Induction Motor Drive by
Stator Voltage Control, Energia /1972/, Moscow
- [7] Borka J., Halász S.: Háromfázisú feszültségszabályozott aszink-
ronmotoros daruhajtások és azok szabályozástech-
nikai sajátosságai
II. Erősáramu Elektronika Konferencia,
Budapest, 1970.
- [8] I.Rác, J.Borka, K.Lupán, Mrs. D.Miklós:
Quasiperiodic Dynamic Behaviour of Piecewise
Linear Multiparameter Systems
Periodica Politecnica, Vol.13, No.3.
1969, Budapest.

- [9] Rác I.: Tirisztoros villamosgép-kapcsolások számítása mátrixokkal
I. Erősáramu Elektronika Konferencia,
Budapest, 1970.
- [10] J. Borka.: Analysis of Induction Motor Drives The Royal
Institute of Technology,
Stockholm, 1972.
- [11] S. Halász, M. Hunyár: The Calculation Methods of Induction
Motor Supplied by Back-to-back Connected
Semiconductor Paris
IFAC Symposium on Power Electronics and
Electrical Drives, Düsseldorf, 1974.
- [12] Varga A.: Ellenpárhuzamos tirisztörpárokkal vezérelt
aszinkron motor számítógépes tervezése
II. Erősáramu Elektronika Konferencia,
Budapest, 1973.

A TANULMÁNYOK sorozatban eddig megjelentek:

- 1/1973 Pásztor Katalin: Módszerek Boole-függvények minimális vagy nem redundáns, $\{\wedge, \vee, \neg\}$ vagy $\{\text{NOR}\}$ vagy $\{\text{NAND}\}$ bázisbeli, zárójeles vagy zárójel nélküli formuláinak előállítására
- 2/1973 Вашкеви Иштван: Расчленение многосвязных промышленных процессов с помощью вычислительных машин
- 3/1973 Ádám György: A számítógépipar helyzete 1972 második felében
- 4/1973 Bányász Csilla: Identification in the Presence of Drift
- 5/1973* Gyürki J. - Laufer J. - Grint M. - Somló J.: Optimalizáló adaptív szerszámgépirányítási rendszerek
- 6/1973 Szelke Erzsébet - Tóth Károly: Felhasználói Kézikönyv /USER MANUAL/ a Folytonos Rendszerek Szimulációjára készült ANDISIM programnyelvhez
- 7/1973 Legendi Tamás: A CHANGE nyelv/multiprocesszor
- 8/1973 Klafszy Emil: Geometriai programozás és néhány alkalmazása
- 9/1973 R. Narasimhan: Picture Processing Using Pax
- 10/1973 Dibuz Ágoston - Gáspár János - Várszegi Sándor: MANU-WRAP hátlaphuzalozó. MSI-TESTER integrált áramköröket mérő, TESTOMAT-C logikai hálózatokat vizsgáló berendezések ismertetése
- 11/1973 Matolcsi Tamás: Az optimum-számítás egy új módszeréről
- 12/1973 Makroprocesszorok, programozási nyelvek. Cikkgyűjtemény az NJSzT és SzTAKI közös kiadásában.
Szerkesztette: Legendi Tamás
- 13/1973 Jedlovsky Pál: Új módszer bonyolult retifikáló oszlopok vegyészmérnöki számítására
- 14/1973 Bakó András: MTA kutatóintézeteinek bérszámfejtése számítógéppel
- 15/1973 Ádám György: Kelet-nyugati kapcsolatok a számítógépiparban



- 16/1973 Fidrich Ilona - Uzsoy Miklós: LIDI-72 Listakezelő rendszer a Digitális Osztályon, 1972. évi változat
- 17/1974 Gyürki József: Adaptív termelésprogramozó rendszer /APS/ termelő műhelyek irányítására
- 18/1974 Pikler Gyula: MINI-számítógépes interaktív alkatrészprogramíró rendszer NC szerszámgépek automatikus programozásához
- 19/1974 Gertler, J. - Sedlak, J.: Software for process control
- 20/1974 Vámos, T. - Vassy, Z.: Industrial Pattern Recognition Experiment-A Syntax Aided Approach
- 21/1974 A KGST I.-15-1.: Diszkrét rendszerek automatikus tervezése c. témában 1973. februárban rendezett szeminárium előadásai
- 22/1974 Arató M. - Benczúr, A. - Krámlí, A. - Pergel, J.: Stochastic Processes, Part I.
- 23/1974 Benkó Sándor - Renner Gábor: Erősen telített mágneses körök számítógépes tervezési módszere
- 24/1974 Kovács György - Franta Lászlóné: Programcsomag elektronikus berendezések hátlaphuzalozásának tervezésére
- 25/1974 Járdán R. Kálmán: Háromfázisú tirisztoros inverték állandósult tranziens jelenségei és belső impedanciája
- 26/1974 Gergely József: Numerikus módszerek sparse mátrixokra
- 27/1974 Somló János: Analitikus optimalizálás
- 28/1974 Vámos Tibor: Tárgyfelismerési kísérlet nyelvi módszerekkel
- 29/1974 Mórítz Péter: Vegyészmérnöki számítási módszerek fázis-egyensúlyok és kémiai egyensúlyok vizsgálatára
- 30/1974 Vámos, T. - Vassy, Z.: THE BUDAPEST ROBOT-Pragmatic intelligence -.
- 31/1975 Nagy István: Frekvenciásos, középfrekvenciás inverter elmélete

- 32/1975 Singer - Borossay - Koltai: Gázhálózatok optimális irányítása különös tekintettel a Fővárosi Gázművek hálózataira
- 33/1975 Vámos Tibor - Vassy Zoltán: Limited and Pragmatic Robot Intelligence
- L.Mérő - Z.Vassy: A Simplified and Fastened Version of the Hueckel Operator for Finding Optimal Edges in Pictures
- Галло В.: Программа для распознавания геометрических образов, основанная на лингвистическом методе описания и анализа геометрических структур
- 34/1975 Nemes László: Pattern Identification Method for Industrial Robots by Extracting the main Features of Objects
- 35/1975 Garádi János - Krámlí András - Ratkó István - Ruda Mihály: Statisztikai és számítástechnikai módszerek alkalmazása kórházi morbiditás vizsgálatokban
- 36/1975 Renner Gábor: Elektromágneses tér számítása nagyhőmérsékletű anyagban
- 37/1975 Edgardo Felipe: Specification problems of a process control display
- 38/1975 Hajnal Andrásné: Nemlineáris egyenletrendszerek megoldási módszerei
- 39/1975* A.Abd.El-Sattar: Control of induction motor by phrel
- 40/1975 Gerhardt Géza: QDT grafikus interaktív szubrutinok a CDC 3300- GD'71 grafikus konfigurációra
- 41/1975 Arató, M. - Benczur, A. - Krámlí, A. - Pergel, J.: Stochastic Processes, Part II.
- 42/1975 Arató Mátyás: Fejezetek a matematikai statisztikából számítógépes alkalmazásokkal
- 43/1975 Matavovszky Tibor - dr. Pásztorné, Varga Katalin: Programrendszer együttes egyszerűsítésére vagy minimalizálására

44/1975 Bacsó Nándorné: Pneumatikus áramköri hazardok

Jelen dolgozat az 5.4.1 számú
intézeti témában került kidol-
gozásra

Beérkezett: 1975. II. 26.

A * -gal jelölt kivételével a sorozat kötetei megrendelhetők az Inté-
zet könyvtáránál /Budapest, XIII. Victor hugo u. 8-11./

